

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Специализация Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Исследование автоматики ввода резерва подстанции «ГПП-3» 110/10 кВ Томской энергосистемы</b>

УДК 621. 311.4.062.88

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А6А1	Семенцов Иван Александрович		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Свечкарев С.В.	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОГСН ШБИП	Киселева Е. С.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Антоневич О. А.	к.б.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

Томск – 2021 г.

**Планируемые результаты обучения по ООП «Электроэнергетика»**

Код резул ь-тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Универсальные компетенции</i>		
P1	<i>Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.</i>	Требования ФГОС (ОК-1, 3; ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.</i>	Требования ФГОС (ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P3	<i>Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.</i>	Требования ФГОС (ОК-2, 3; ОПК-1; ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P4	<i>Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.</i>	Требования ФГОС (ОК-3; ОПК-1, 4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности, связанной с автоматизированными системами диспетчерского управления в электроэнергетике.</i>	Требования ФГОС (ОПК-4; ПК- 4-6) <sup>1</sup> , Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P6	<i>Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа при проектировании, эксплуатации и обслуживании автоматизированных систем диспетчерского управления электроэнергетических систем с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в</i>	Требования ФГОС (ПК-1, 7,8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>

<sup>1</sup> Указаны коды компетенций по ФГОС (направление 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника), утвержденному Приказом Министерства образования и науки РФ № 1500 от 21.11.2014 г.

Код резул ь-тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	условиях неопределенности.	
P7	Выполнять инновационные <i>инженерные проекты</i> по разработке аппаратных и программных средств автоматизированных систем диспетчерского управления электроэнергетических систем с использованием современных методов проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных систем.	Требования ФГОС (ПК-2, 9, 10, 11). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i>
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области автоматизированных систем управления электроэнергетических систем, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-3, 13, 14, 15, 24-26). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	Проводить <i>техничко-экономическое обоснование</i> проектных решений; осуществлять профессиональную деятельность руководствуясь требованиями стандартов и рынка; разрабатывать планы и программы организации профессиональной деятельности на предприятии; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 16-20, 24, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i>
P10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные</i> , наладочные работы оборудования и программного обеспечения по профилю профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-22, 23, 25, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i>
P11	<i>Осваивать новое оборудование и программное обеспечение в сфере автоматизации диспетчерского управления</i> ; проверять техническое состояние и остаточный ресурс эксплуатируемых программно-технических комплексов и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.	Требования ФГОС (ПК-27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i>
P12	Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.	Требования ФГОС (ПК-29, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

В.В. Шестакова

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

### ЗАДАНИЕ

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
З-5А6А1	Семенцову Ивану Александровичу

Тема работы:

<b>Исследование автоматики ввода резерва подстанции «ГПП-3» 110/10 кВ Томской энергосистемы</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	17.02.21 № 48-22/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**01.06.2021**

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

#### Исходные данные к работе

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).*

**1. Схема РУ-142 и его электроснабжения однолинейная.**

**2. Программа анализа переходных характеристик математических моделей автоматических регуляторов.**

**3. Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС) для определения влияния различных видов автоматических включений резерва (АВР) на синхронную работу синхронных электродвигателей (СД) РУ-142.**

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p><b>1. Провести исследование переходных характеристик звеньев математической модели и представить графические и аналитические результаты.</b>  <b>1. На ВМК РВ ЭЭС произвести исследование влияния времени работы АВР и включения выключателя на устойчивость работы синхронных двигателей.</b>  <b>2. Снять и проанализировать осциллограммы аварийных режимов работы.</b>  <b>3. По получившимся данным сделать вывод о возможности и целесообразности установки комплекта защиты БАПР.</b>  <b>4. Рассмотреть вопрос проектирования БАПР со стороны экономической эффективности.</b></p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><b>Схема РУ-142 и его электроснабжения однолинейная.</b>   <b>Результаты исследований.</b></p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Антоневич О. А.</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Киселева Е. С.</p>

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12.10.2020
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Свечкарев С.В.	к.т.н.		12.10.20

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А6А1	Семенцов Иван Александрович		12.10.20

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования: бакалавр

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения: осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	<b>01.06.2021</b>
--	-------------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.02.21	Календарное планирование работ по теме	15
01.03.21	Устройство быстродействующего автоматического ввода резерва	15
01.04.21	Описание ВМК РВ ЭЭС	20
01.05.21	Переходные характеристики звеньев математической модели	10
26.05.21	Исследование влияния времени работы АВР и включения выключателя на устойчивость работы синхронных двигателей	20
27.04.21	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
12.05.21	Социальная ответственность	10
		100

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Свечкарев С.В.	к.т.н.		12.10.20

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		13.10.20

## Реферат

Выпускная квалификационная работа, состоящая из 82 страниц, 26 рисунков, 30 таблицы, 28 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: энергорайон, схема питания, быстродействующий автоматический ввод резерва, синхронный двигатель, силовой выключатель, устойчивость, взаимный угол.

Объектом исследования является быстродействующий автоматический ввод резерва для схемы питания завода.

Цель работы – исследование влияния времени работы автоматического ввода резерва и включения выключателя на устойчивость работы синхронных двигателей.

Метод проведения исследования и аппаратура – определение максимально возможного времени работы автоматического ввода резерва, то есть переключения нагрузки с рабочей на резервную шину, для сохранения устойчивой работы энергорайона. Исследования проводились с помощью программно-аппаратного комплекса моделирования – Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем, на примере схемы питания завода ООО «Томскнефтехим».

Область применения – полученные результаты могут быть обоснование для выбора максимально возможного времени работы автоматического ввода резерва.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

ЭЭС – электроэнергетические системы;

АВР – автоматический ввод резерва;

ВМК РВ ЭЭС – всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетической системы;

РМ - реактивная мощность

СМ – синхронная машина

ЭДС – электродвижущая сила

ПС – подстанция.

ТП – тиристорный преобразователь

ВЛ – воздушная линия

СГ- синхронный генератор

ОС – операционная система

КЗ – короткое замыкание

АРЧМ – автоматическое регулирование частоты и активной мощности

РЗА – релейная защита и автоматика



## Оглавление

Введение .....	10
1 Устройство быстродействующего автоматического ввода резерва .	11
2 Описание ВМК РВ ЭЭС .....	15
3 Переходные характеристики звеньев математической модели .....	21
4 Исследование влияния времени работы АВР и включения выключателя на устойчивость работы синхронных двигателей .....	25
4.1 Исследование влияния времени работы АВР для СД1 .....	28
4.2 Исследование влияния времени работы АВР для СД2 .....	36
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	45
6 Социальная ответственность .....	63
Заключение .....	75
Список использованных источников .....	76

## Введение

В соответствии с нормативными документами [1, 2] необходимо обеспечить надежное и бесперебойное электроснабжение потребителей. Иначе, останов электроснабжения это может привести к существенным последствиям: человеческим жертвам и/или значительным сокращением производства продукции и финансовым потерям.

Возможные нарушения электроснабжения можно классифицировать на следующие категории [3]:

- внешние короткие замыкания (КЗ) любых видов приводят не только к термическому воздействию на токоведущие части, но и к существенному снижению уровня напряжения в точке подключения электроприемника, например, двигательной нагрузки, что приводит к нарушению устойчивости работы последних.

- КЗ во внутренних схемах электроснабжения. Такие КЗ также устраняются работой устройств релейной защиты, но электроснабжение восстанавливается за счет работы автоматики: автоматическое повторное включение и автоматический ввод резерва. Однако, возможная бестоковая пауза, вызванная временем срабатывания данных автоматик может быть критической, что также приводит к нарушению устойчивости работы.

- несанкционированные отключения в цепи питания объекта. Причиной таких отключений могут быть: человеческий фактор (ошибка дежурного персонала); отключения выключателей от технологических защит (например, от понижения уровня масла) и ряд других.

- коммутации во внутризаводской электрической сети предприятия (пуск мощных электродвигателей, переключение и т.д.).

В рамках данной работы необходимо исследовать влияние автоматики ввода резерва на функционирование синхронной машины, как одного из наиболее распространённых типов электроприемников. В качестве расчётной схемы будем использовать схемы питания завода ООО «Томскнефтехим».

## 1 Устройство быстродействующего автоматического ввода резерва

Автоматический ввод резерва (АРВ) представляет собой совокупность оборудования для включения резерва или отключенных ранее выключателей для перевода электроснабжения приемника на резервную шину питания (рисунок 1) [4, 5].

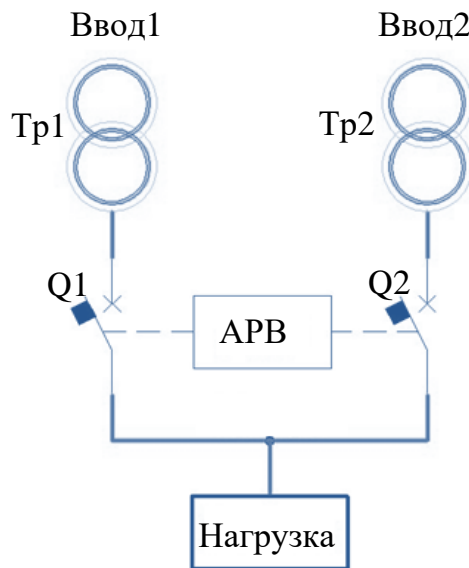


Рисунок 1 – Схема АРВ на два ввода и одну нагрузку

В соответствии с рисунком 1 питание нагрузки может осуществляться через нормально включенный выключатель Q1, то есть через трансформатор Тр1 и Ввод 1, при этом выключатель Q2 будет нормально разомкнут. С другой стороны при возникновении какого-либо повреждения на линии Ввода 1 и отключении выключателя Q1, питание нагрузки может быть реализовано через замкнувшийся выключатель Q2. Данный процесс (мониторинг, переключение выключателей) осуществляет АРВ.

Различают несколько схем АРВ:

- два ввода/один ввод с секционированием питающей шины и электроснабжением двух нагрузок (рисунок 2).

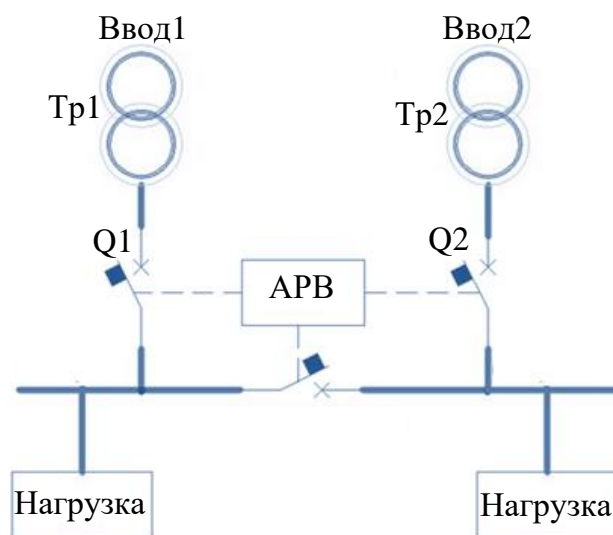


Рисунок 2 – Схема АВР на два ввода/один ввод с секционированием

- три ввода/один ввод (рисунок 3).

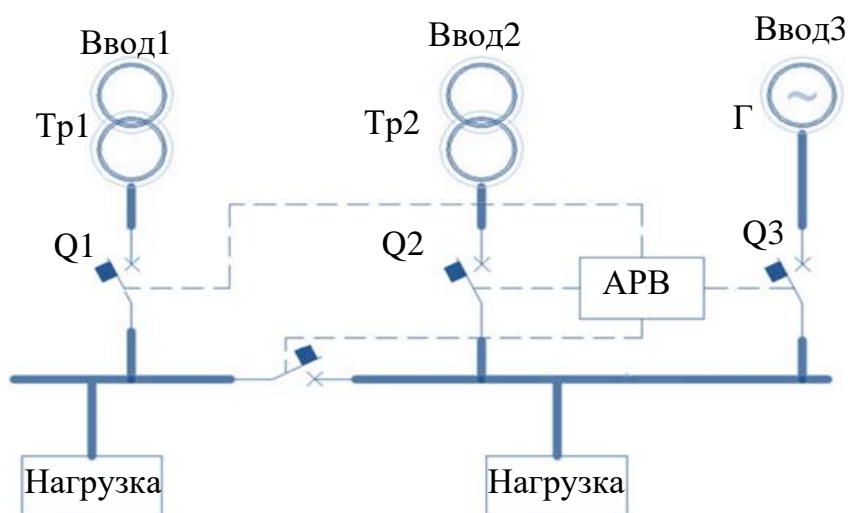


Рисунок 3 – Схема АВР с комбинированным подключением нагрузки

Кроме этого АВР можно классифицировать по количеству операций: одностороннего и двухстороннего действия. При одностороннем АВР переключение происходит с рабочего на резервный ввод (например, рисунок 1), при двухстороннем – любой ввод считается как рабочим, так и резервным (например, рисунок 2 или 3).

Основным требованием к АВР, кроме надежности работы всех элементов, является минимальное время переключения от рабочего ввода к резервному. В большей степени это определяется используемым силовым

выключателем (Q1 и/или Q2 на рисунке 1). В целом требования к быстродействию выключателя определяются тем, что в период безтоковой паузы напряжение на шине может снизиться и вызовет нарушение устойчивости или фаза напряжения на выходе синхронных машин «развернется» относительно напряжения сети, что при включении на резервную шину питания может привести к появлению уравнительного тока, который также окажет существенное влияние на работу энергорайона. Поэтому, обычно необходимо, чтобы остаточное напряжение в точке подключения синхронной машины оставалось более 80% от номинального, а фаза напряжения не сдвинулась более чем на  $30^{\circ}$ - $45^{\circ}$  [6]. Любой быстродействующий АВР (БАВР) состоит из блока управления и быстродействующих выключателей рабочих и резервных вводов. На БАВР приходят сигналы от трансформаторов напряжения и трансформаторов тока, а также дискретные сигналы положения контактов выключателей.

В настоящее время существует широкая линейка АВР разных производителей (таблица 1).

Таблица 1 – Линейка АВР разных производителей

Завод производитель	Полное время переключения на резервный ввод
ООО «СЗЭМО «ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ» [7]	20-30 мс (для элегазовых выключателей типа Shell Q (Таврида Электрик))
Чебоксарский электроаппаратный завод [8]	20 мс (для элегазовых)
Релематика [9]	не более мс (для элегазовых)
Таврида Электрик [10]	20-30 мс (для элегазовых выключателей типа Shell Q (Таврида Электрик))

В связи с этим в рамках данной работы планируется провести исследования по функционированию АВР для обеспечения бесперебойной работы потребителя. Исследования будут проводиться на тестовой схеме питания завода ООО «Томскнефтехим» (ТНХК), которая включает две модели синхронных машин. Схема питания ТНХК представлена на рисунке 4 и разработан в программно-техническом комплексе моделирования –

Всережимный моделирующий комплекс реального времени  
электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС).

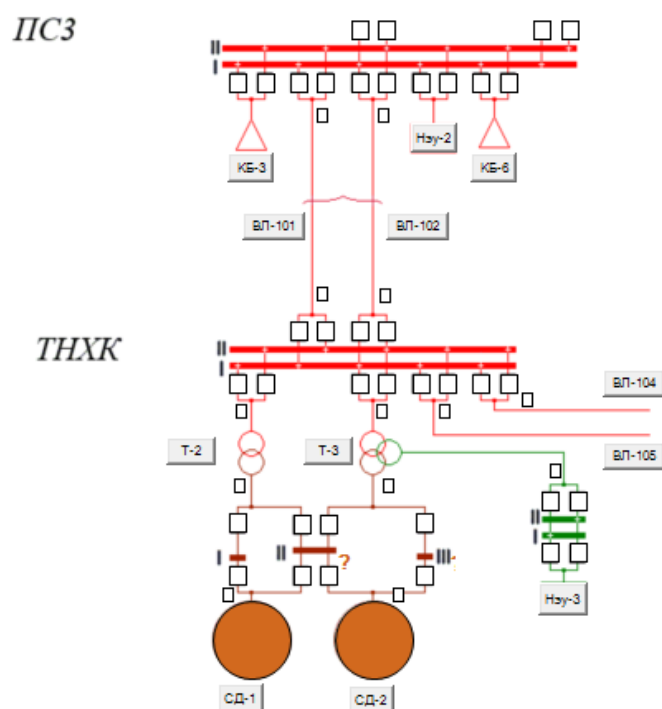


Рисунок 4 – Схема питания ТНХК в ВМК РВ ЭЭС

## 2 Описание ВМК РВ ЭЭС

Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС) – это программно-технический комплекс моделирования энергосистем, который позволяет воспроизводить процессы в реальном времени и для энергосистем больших масштабов [11]. Для работы с ВМК РВ ЭЭС существует программное обеспечение Клиент, с помощью которого осуществляется подключение к Серверу самого ВМК РВ ЭЭС. На рисунке 5 представлена тестовая схема ТНХК, разработанная в ВМК РВ ЭЭС, которая включает линии электропередачи ВЛ-101 и ВЛ-102, силовые трансформаторы Т-2, Т-3 и синхронные машины СД1 и СД2.

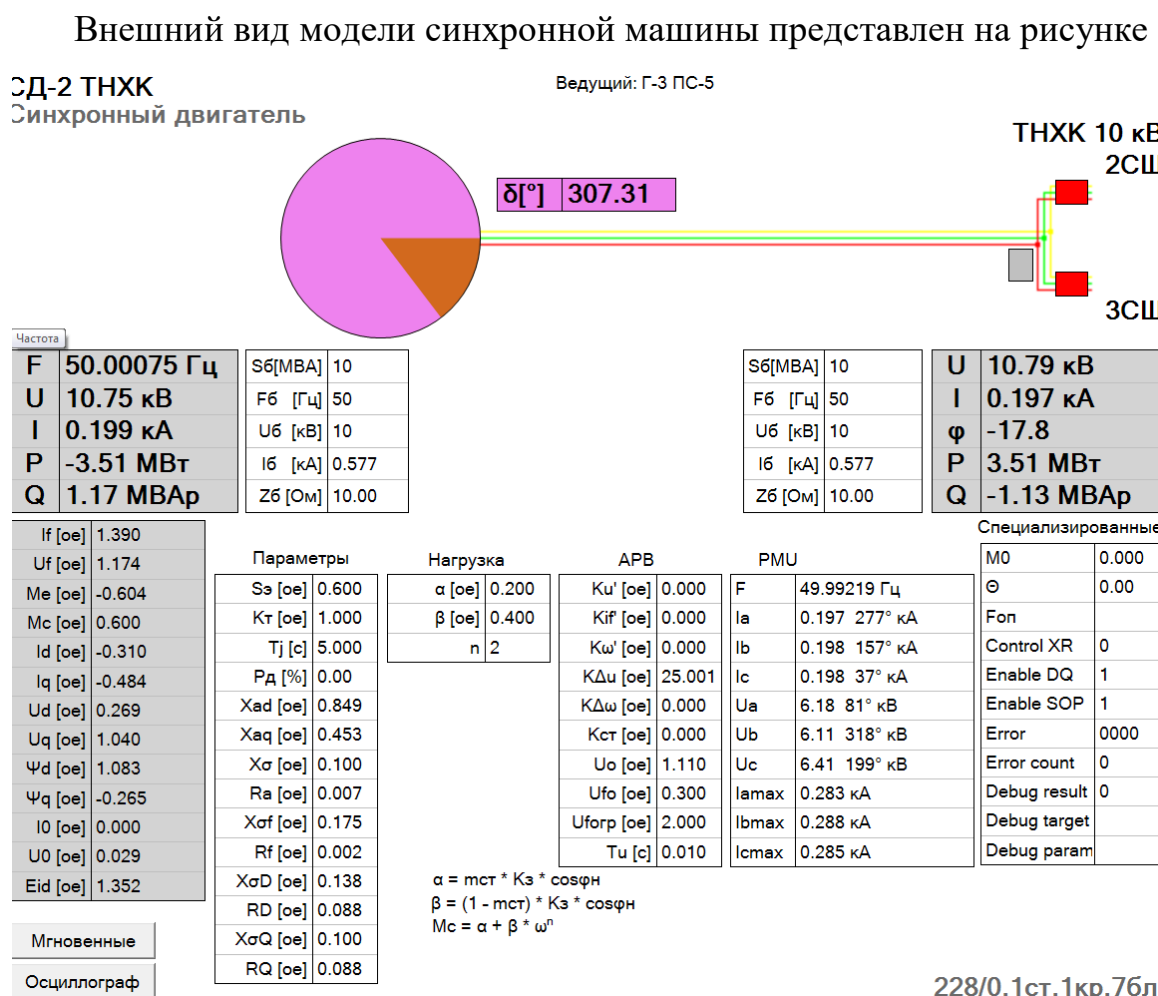


Рисунок 5 – Внешний вид модели синхронной машины.

В таблицах с серым фоном сгруппированы приборы, индицирующие

значения переменных режимов, а с белым фоном – параметры моделируемого элемента, доступные для редакции.

Приборы:

- СД-2 ТНХК – имя элемента;
- 10 кВ – уровень напряжения;

Таблица:


-  – графическое представление текущего значения взаимного угла  $\delta$  (цвет сектора углового прибора, показывающего взаимный угол и фон прибора  $\delta[^\circ]$  задан фиолетовый);
- $\delta[^\circ]$  – численное представление значения взаимного угла  $\delta$ ;

Таблица текущих выходных значений:

- F – частота [Гц];
- U – напряжение генератора [кВ];
- I – полный ток генератора [кА];
- P – активная мощность [МВт];
- Q – реактивная мощность [МВАр];

Таблица текущих значений в узле примыкания:

- U – напряжение в узле примыкания [кВ];
- I – полный ток в узле примыкания [кА];
- P – активная мощность в узле примыкания [МВт];
- Q – реактивная мощность в узле примыкания [МВАр];

Таблица базиса:

- Sб [МВА] – базисная мощность;
- Fб [Гц] – базисная частота;
- Uб [кВ] – базисное напряжение;
- Iб [кА] – базисный ток;
- Zб [Ом] – базисный импеданс;

Таблица «АРВ»:

- KU' [о.е.] – усиление по каналу U';
- Kif' [о.е.] – усиление по каналу If';



- $K\omega'$  [о.е.] – усиление по каналу  $\omega'$ ;
- $K\Delta u$  [о.е.] – усиление по каналу отклонения  $U$ ;
- $K\Delta\omega$  [о.е.] – усиление по каналу  $\Delta\omega$ ;
- $K_{ст}$  [о.е.] – статизм по реактивной мощности;
- $U_0$  [о.е.] – уставка  $U$ ;
- $U_{fo}$  [о.е.] – ручное управление  $U$ ;
- $U_{fогр}$  [о.е.] – ограничение  $U_f$ ;
- $T_u$  [с] – постоянная времени измерителя напряжения;

Таблица «Нагрузка»:

- $\alpha$  [о.е.] – независимый от частоты момент нагрузки;
- $\beta$  [о.е.] – зависимый от частоты момент нагрузки;
- $n$  – степень зависимости момента нагрузки от частоты.

Таблица «Параметры»:

- $S_{э}$  [о.е.] – эквивалентная мощность электрической машины;
- $K_t$  [о.е.] – коэффициент трансформации;
- $T_j$  [с] – постоянная инерции ротора;
- $R_d$  [%] – потери на трение;
- $X_{ad}$  [о.е.] – взаимная индуктивность по оси  $d$ ;
- $X_{aq}$  [о.е.] – взаимная индуктивность по оси  $q$ ;
- $X_{\sigma}$  [о.е.] – индуктивность рассеяния обмотки статора;
- $R_a$  [о.е.] – активное сопротивление обмотки статора;
- $X_{\sigma f}$  [о.е.] – индуктивность рассеяния обмотки возбуждения;
- $R_f$  [о.е.] – активное сопротивление обмотки возбуждения;
- $X_{\sigma D}$  [о.е.] – индуктивность рассеяния демпферного контура по оси  $d$ ;
- $R_D$  [о.е.] – активное сопротивление демпферного контура по оси  $d$ ;
- $X_{\sigma Q}$  [о.е.] – индуктивность рассеяния демпферного контура по оси  $q$ ;
- $R_Q$  [о.е.] – активное сопротивление демпферного контура по оси  $q$ ;

Внешний вид модели трансформатора представлен на рисунке 6.

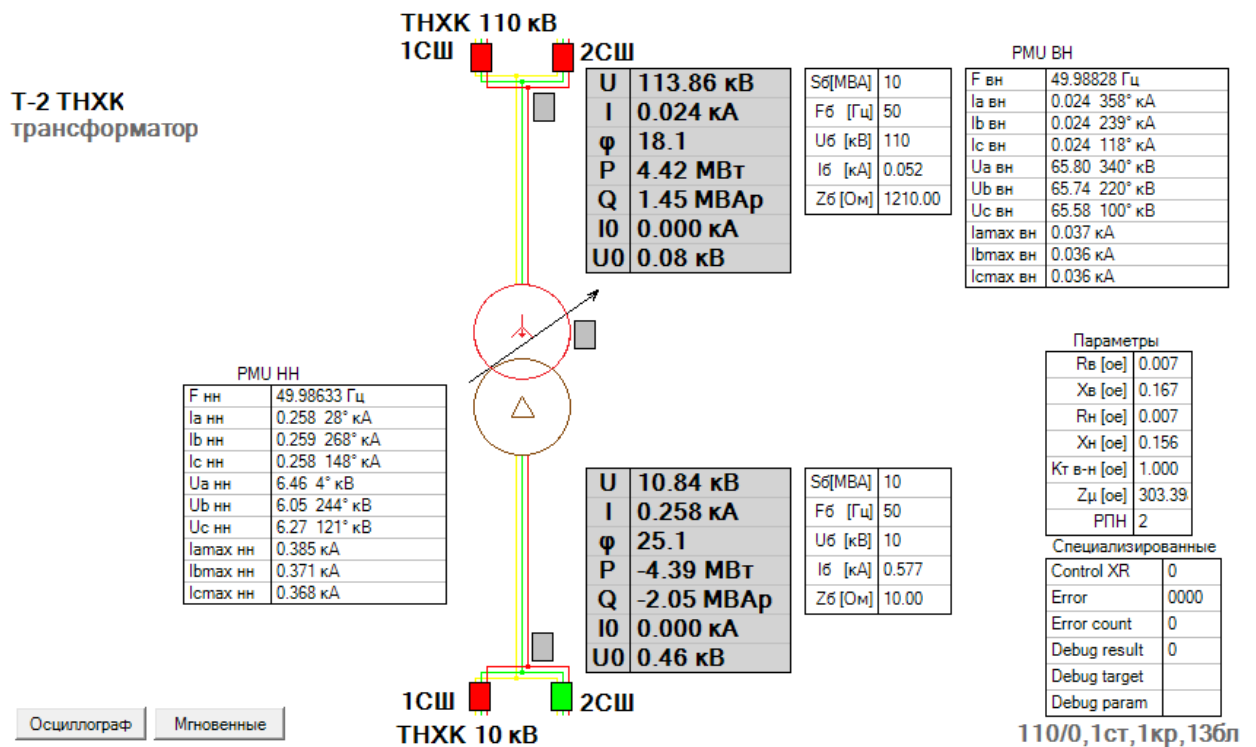


Рисунок 6 – Внешний вид модели трансформатора

Таблица «Параметры»:

- $R_v$  [о.е.] – задание и отображение активного сопротивления обмотки ВН;
- $X_v$  [о.е.] – задание и отображение индуктивности обмотки ВН;
- $R_c$  [о.е.] – задание и отображение сопротивления обмотки СН;
- $X_c$  [о.е.] – задание и отображение индуктивности обмотки СН;
- $K_{т\text{ в-с}}$  [о.е.] – задание и отображение коэффициента трансформации ВН-СН;
- $R_n$  [о.е.] – задание и отображение активного сопротивления обмотки НН;
- $X_n$  [о.е.] – задание и отображение индуктивности обмотки НН;
- $K_{т\text{ в-н}}$  [о.е.] – задание и отображение коэффициента трансформации ВН-НН;

Внешний вид модели линии электропередачи представлен на рисунке

7.

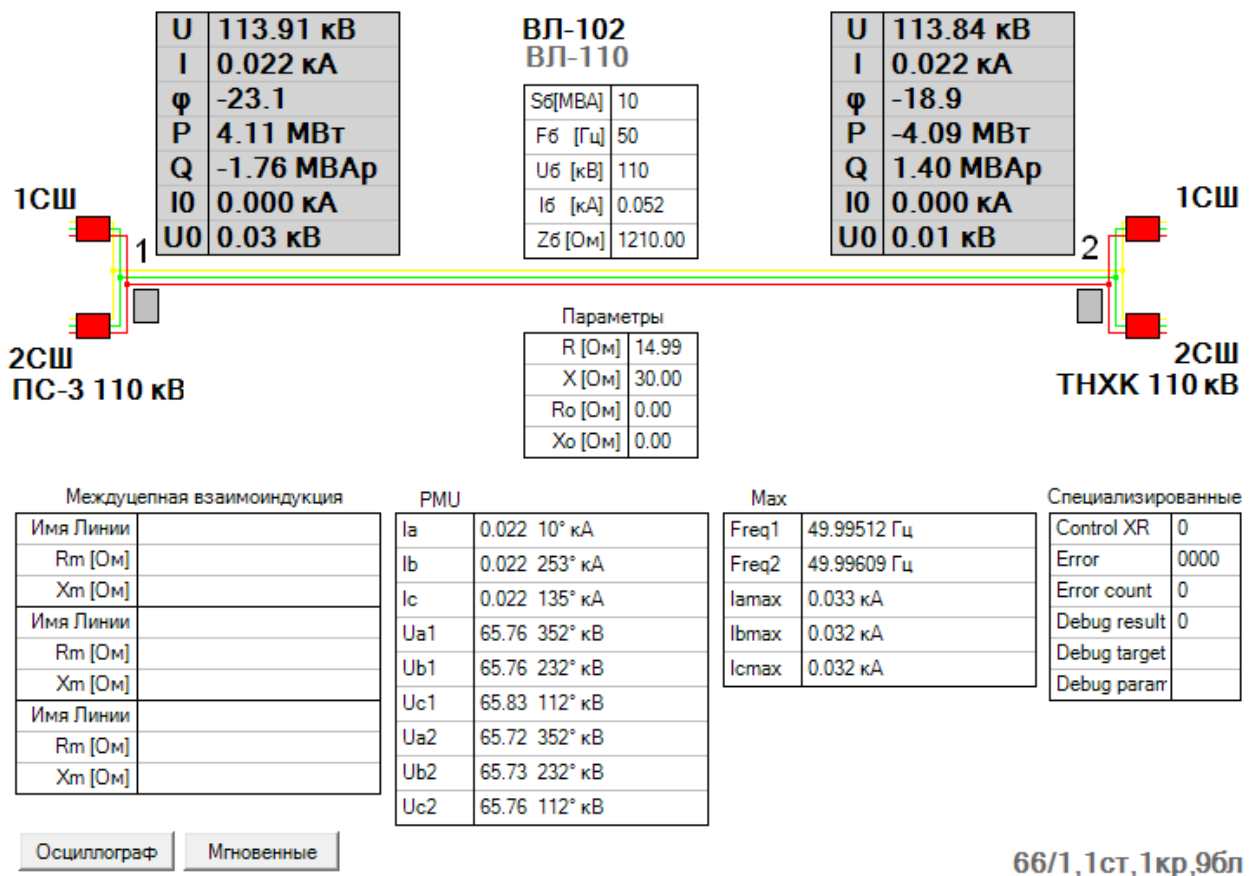


Рисунок 7 – Внешний вид модели линии электропередачи

Таблица «Параметры»:

- R [о.е.] – синхронное задание и отображение активного сопротивления фаз;
- Ra [о.е.] – индивидуальное задание и отображение активного сопротивления фазы A;
- Rb [о.е.]– индивидуальное задание и отображение активного сопротивления фазы B;
- Rc [о.е.] – индивидуальное задание и отображение активного сопротивления фазы C;
- X [о.е.] – синхронное задание и отображение индуктивности фаз;
- Xa [о.е.] – индивидуальное задание и отображение индуктивности фазы A;
- Xb [о.е.] – индивидуальное задание и отображение индуктивности фазы B;

- $X_c$  [о.е.] – индивидуальное задание и отображение индуктивности фазы С;
- $R_0$  [о.е.] – задание и отображение сопротивления нулевой последовательности;
- $X_0$  [о.е.] – задание и отображение индуктивности нулевой последовательности;
- Таблица «Междупецепная взаимоиндукция»:
- Имя линии – выбор взаимоиндуктирующей линии в данном модуле;
- $R_m$  [о.е.] – задание и отображение активного сопротивления взаимоиндукции;
- $X_m$  [о.е.] – задание и отображение индуктивности взаимоиндукции;

### 3 Переходные характеристики звеньев математической модели

Все модели устройств релейной защиты и автоматики выполнены на цифровом уровне с помощью микроконтроллеров. Поэтому проанализируем, как реализованы динамические звенья моделей устройств релейной защиты и автоматики. Данные исследования будет проводить в программе Visual Studio 2019 и Mathcad.

Рассмотрим динамические звенья первого и второго порядка, с помощью которых реализованы каналы по первой производной отклонения напряжения и/или по отклонению частоты.

Математическая модель звена первого порядка:

$$\frac{U_0}{U_1} = \frac{1}{1 + Tp}$$

$$U_0(1 + Tp) = U_1$$

$$U_0 + U_0Tp = U_1$$

$$U_0Tp = U_1 - U_0$$

$$U_0 = \frac{1}{T} \int (U_1 - U_0) dt$$

Структурная схема реализации математической модели звена первого порядка представлена на рисунке 8.

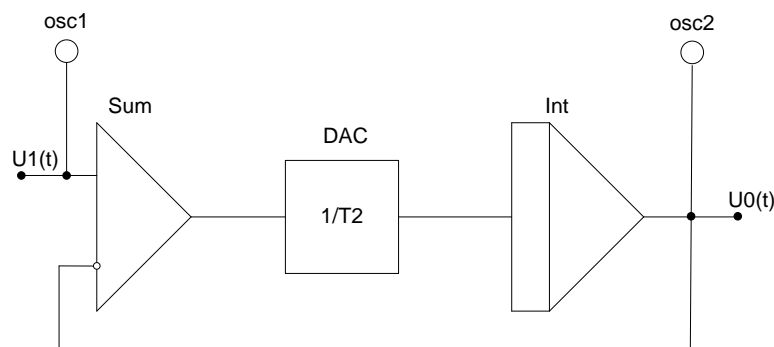


Рисунок 8 – Схема математической модели звена первого порядка

На основе данной схемы можно сформировать программный код решения математической модели звена первого порядка в программе Visual Studio 2019 (рисунок 9).

```

public sealed class Device
{
    public static Scheme uravn1()
    {
        var FOE = new Scheme("uravn1");
        var Sum = new Adder(FOE, "Sum", 10.0, "");
        var DAC = new Dac16(FOE, "DAC", 2.0, 0.0, 1.0, "");
        var Int = new Integrator(FOE, "Int", 10.0, "iiiiii");
        var Ref = new Reference(FOE, "Ref", 32, 10.0, 0.5, "");
        var Out1 = new OutputVariables(FOE, "Out1", 32, "");
        var Out2 = new OutputVariables(FOE, "Out2", 32, "");

        DAC.Connect(Sum);
        Sum.Connect(Ref, 1.0, Int, -1.0);
        Int.Connect(DAC);
        Out1.Connect(Ref);
        Out2.Connect(Int);

        return FOE;
    }
}

```

Рисунок 9 – Фрагмент программного кода решения математической модели звена первого порядка в программе Visual Studio 2019

Результатом решения данного кода являются представленные на рисунке 10 графики входного и выходного сигнала.

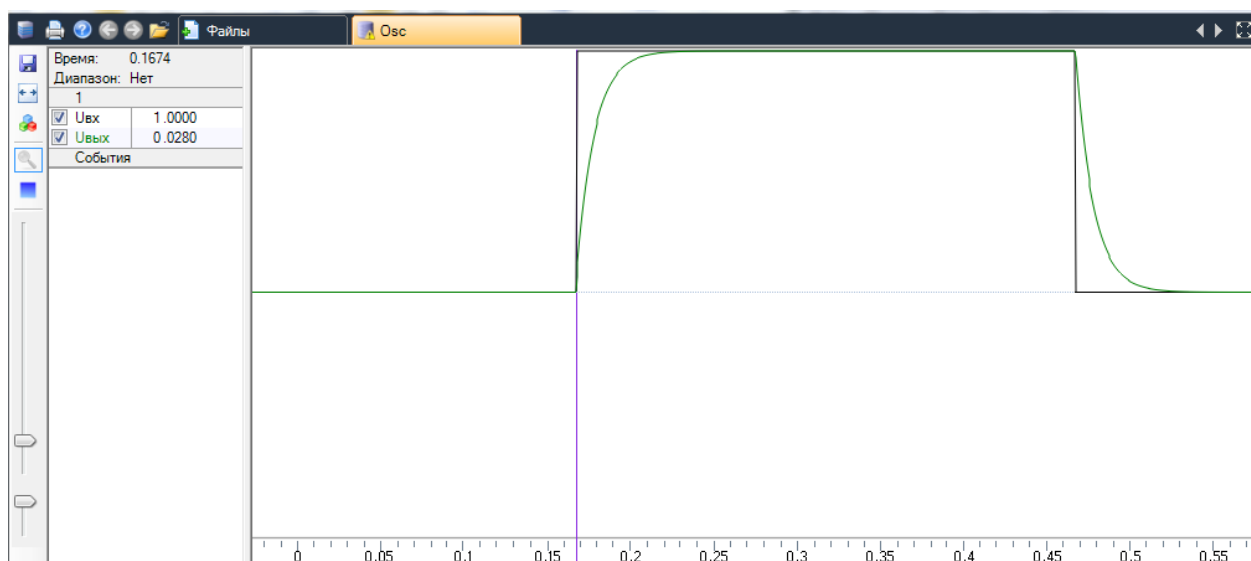


Рисунок 10 – Графики входного и выходного сигнала математической модели звена первого порядка

Аналогичным образом осуществим решение математической модели с помощью программы «Matcad».

В программном комплексе «Mathcad» моделирование осуществлялось путем задания передаточной функции звена в операторной форме, и

осуществления над ней обратного преобразования Лапласа, с помощью функции «invlaplace».

Фрагмент решения представлен на рисунке 11, а графики входного и выходного сигнала – на рисунке 12.

```

U2 := 1

Kfu := 1

Tfu := 0.0124

w(p) =  $\frac{Kfu}{1 + Tfu \cdot p}$ 

x(t) := U2 ·  $\frac{1}{p} \cdot \frac{Kfu}{1 + Tfu \cdot p}$  invlaplace, p → 1.0 - 1.0 · e-80.645161290322580645 · t

f(t) := 1

t := 0, 0.003.. 1

```

Рисунок 11 – Фрагмент решения математической модели с помощью программы «Matcad»

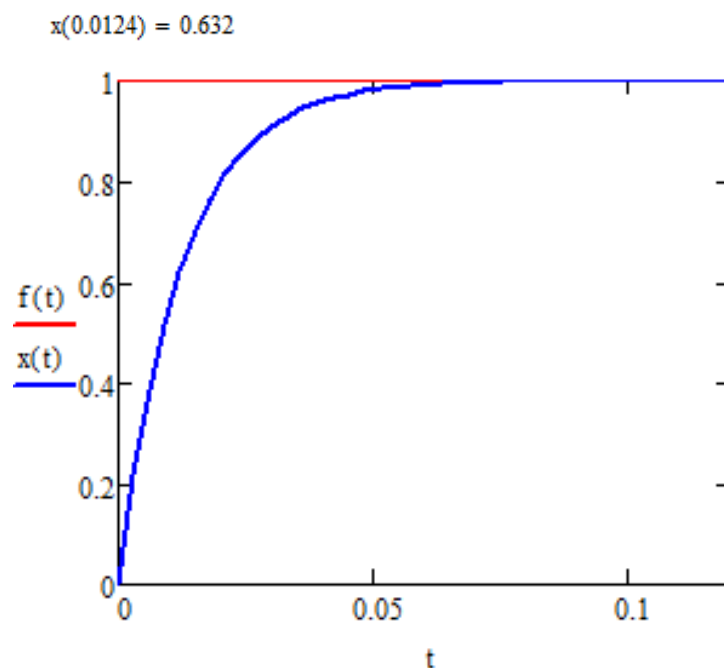


Рисунок 12 – Графики входного и выходного сигнала математической модели звена первого порядка

Для сопоставления полученных графиков необходимо в произвольный момент времени ( $T = 0,0124$  секунд) замерить величину выходного сигнала  $U_{\text{вых}}$ . Результаты сравнения представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты показаний для математической модели первого порядка

Программа	При $T = 0,0124$
«Microsoft Visual Studio2019»	$U_{\text{вых}} = 0,6335$
«Mathcad»	$U_{\text{вых}} = 0,632$
Погрешность	0,237%

Аналогичным образом, проведем исследования по математической модели звена второго порядка.



#### 4 Исследование влияния времени работы АВР и включения выключателя на устойчивость работы синхронных двигателей

Для проведения анализа влияния времени работы АВР и включения выключателя на устойчивость работы синхронных двигателей необходимо сформировать сценарий исследования, который будет включать момент возникновения повреждения в схеме питания синхронных машин ТНХК (например, на линии электропередачи ВЛ-101 или ВЛ-102), факт срабатывания релейной защиты и отключение соответствующих выключателей (например, трансформаторов Т-1 или Т-2) и переключение работы синхронной машины на резервную или вторую рабочую шину питания (например, выключатель Q1.2 СД1 или выключатель Q2.1 СД2, перевод с шины питания I или III на резервную шину питания II). Схема питания ТНХК в ВМК РВ ЭЭС представлен на рисунке 13.

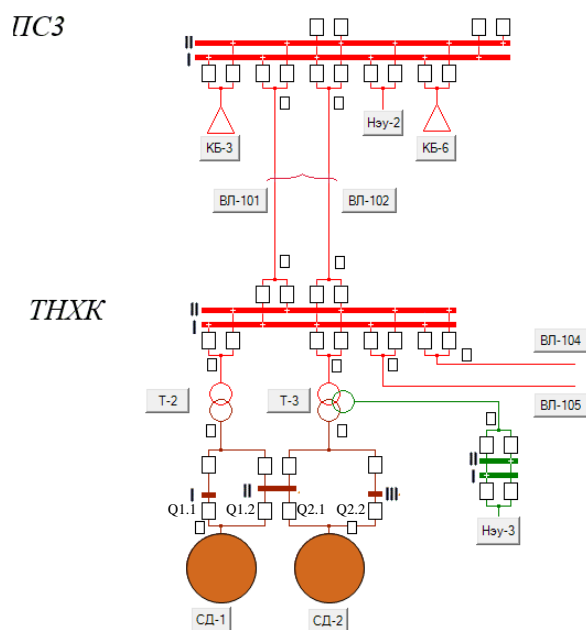


Рисунок 13 – Схема питания ТНХК в ВМК РВ ЭЭС

Фрагмент разработанного сценария представлен на рисунке 14.

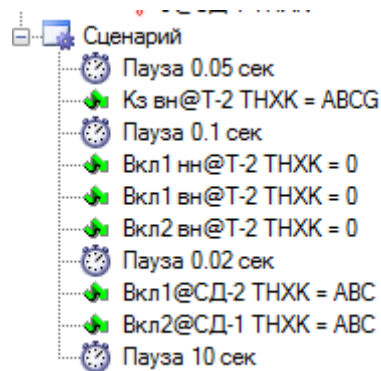


Рисунок 14 – Фрагмент разработанного сценария работы АВР

Согласно рисунку 15 в 0,05 секунд происходит трехфазное короткое замыкание (КЗ) на высокой стороне трансформатора Т-2, затем через 0,1 секунду релейной защитой Т-2 отключается со всех сторон выключателями, а еще через 0,02 секунду АВР переводит питание синхронного двигателя СД1 с шины I на шину II.

Для проведения необходимого анализ в разработанном сценарии необходимо изменять время действия АВР, чтобы оценить влияние времени работы АВР на поддержание устойчивой работы энргорайона.

Для оценки поддержания устойчивой работы энргорайона необходимо вести наблюдение параметров синхронных двигателей (СД1 и СД2). Например, на рисунке 15 представлен фрагмент разработанного сценария с контролируемыми параметрами СД1 и СД2.

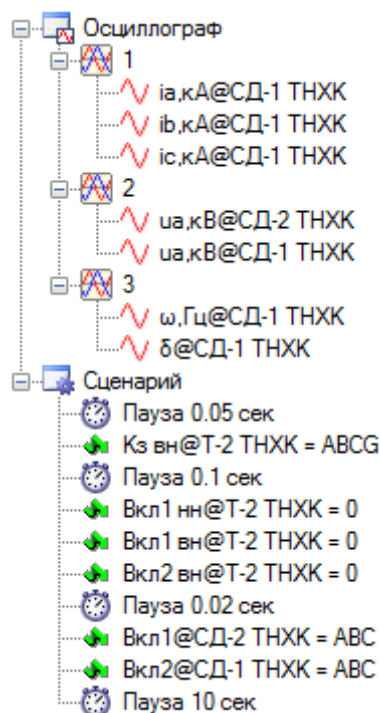


Рисунок 15 – Фрагмент разработанного сценария с контролируемыми параметрами СД1 и СД2

Контроль будет вести по величине частоты и угла синхронной машины.

Как было отмечено ранее, в существующих АВР время срабатывания определяется быстродействием силового выключателя. Хотя, в существующих схемах АВР применяется элегазовые выключатели, время срабатывания которых составляет несколько десятков миллисекунд, рассмотрим несколько вариантов применения схем АВР с разными выключателями (таблица 3) [12].

Таблица 3 – Параметры выключателей

Тип выключателя	Собственное время, секунда	
	включения	отключения
ВМП-10 масляный выключатель	0,3	0,12
МГГ-10 маломасляные выключатели	0,4	0,12
ВЭ-10 электромагнитный выключатель	0,075	0,06
Элегазовый выключатель типа Shell Q	0,03	0,02
ВВ/TEL–10 вакуумный выключатель	0,04	0,03

В соответствии с приведенной таблицей можно сделать вывод, что для исследования необходимо изменять время АВР от 0,01 до 0,4 секунд. При этом дополнительно необходимо изменять параметры нагрузки:

- $\alpha$  [о.е.] – независимый от частоты момент нагрузки;
- $\beta$  [о.е.] – зависимый от частоты момент нагрузки;
- $S_{\Sigma}$  [о.е.] – эквивалентная мощность электрической машины;

#### 4.1 Исследование влияния времени работы АВР для СД1

В рамках данных исследований КЗ будет на высокой стороне трансформатора Т-3, затем через 0,1 секунду релейной защитой Т-2 отключается со всех сторон выключателями, а еще через 0,02 секунду АВР переводит питание синхронного двигателя СД1 с шины I на шину II (включается выключатель Q1.2). Данный сценарий представлен на рисунке 16.

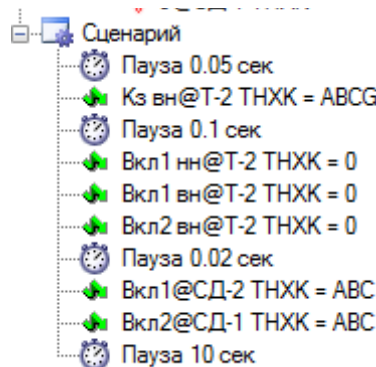


Рисунок 16 – Фрагмент разработанного сценария работы АВР для СД1

На рисунке 17-23 представлены осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-1 при заданных параметрах СД1 и СД2 (рисунок 24 и 25):

$$\alpha=0,2 \text{ о.е.}$$

$$\beta=0,4 \text{ о.е.}$$

$$S_{\Sigma}(\text{СД1})=0,7 \text{ о.е.}$$

$$S_{\Sigma}(\text{СД2})=0,6 \text{ о.е.}$$

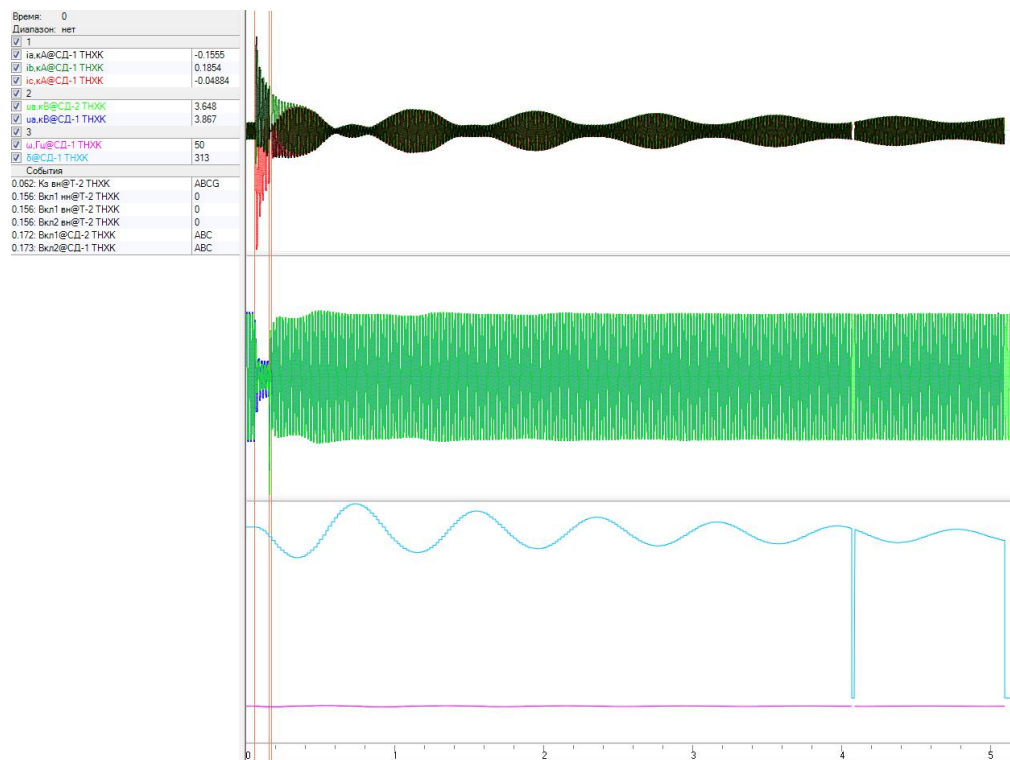


Рисунок 17 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-1 при  $t_{ABP}=0,01$  секунд

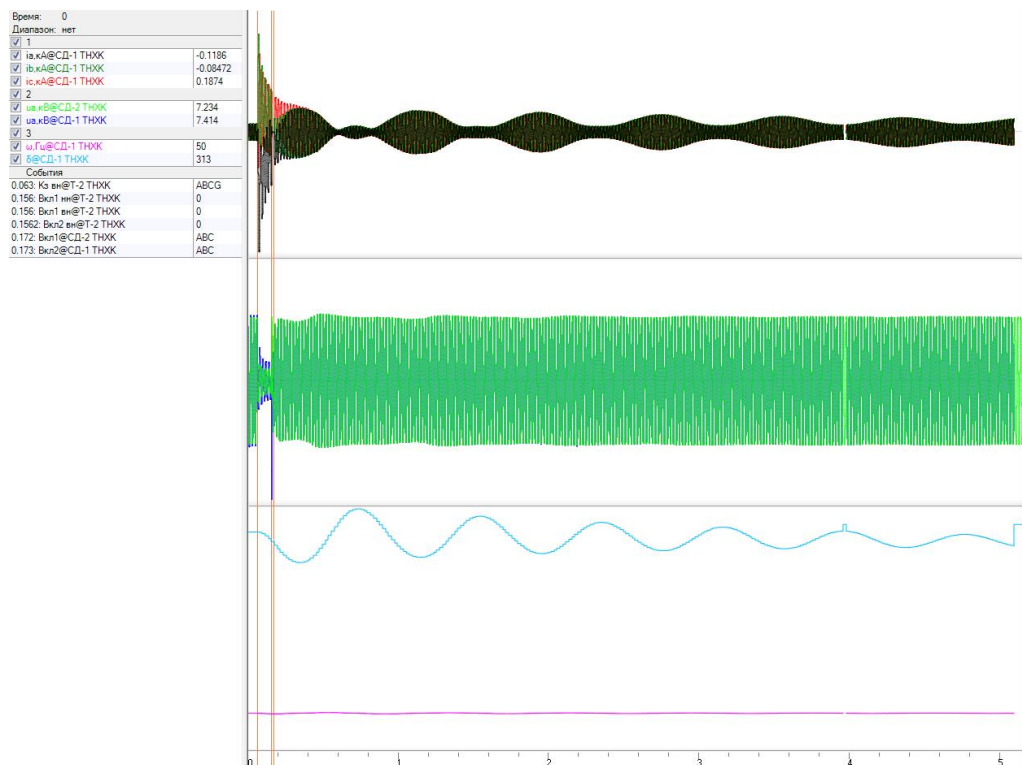


Рисунок 18 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-1 при  $t_{ABP}=0,02$  секунд

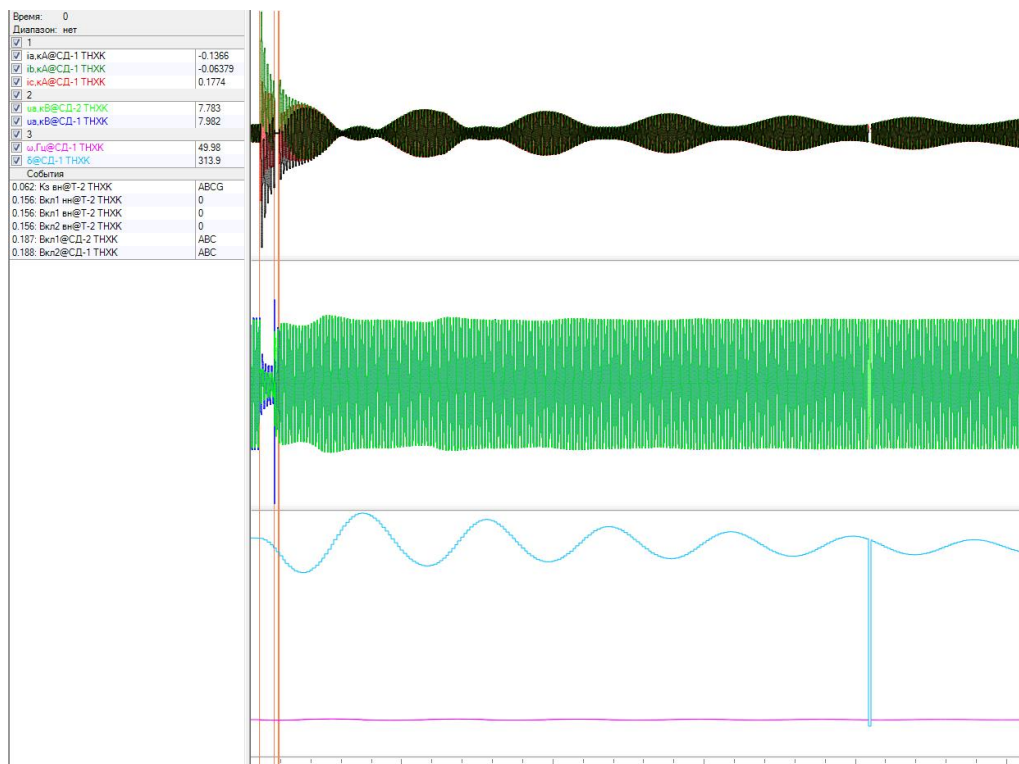


Рисунок 19 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-1 при  $t_{ABP}=0,03$  секунд

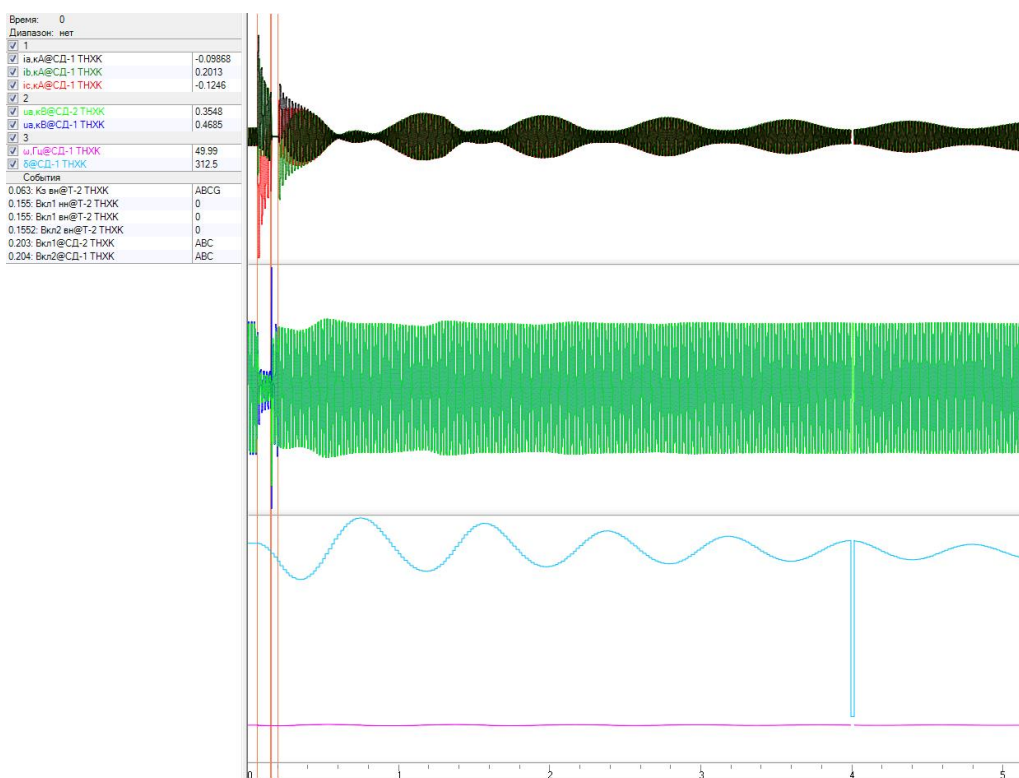


Рисунок 20 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-1 при  $t_{ABP}=0,05$  секунд

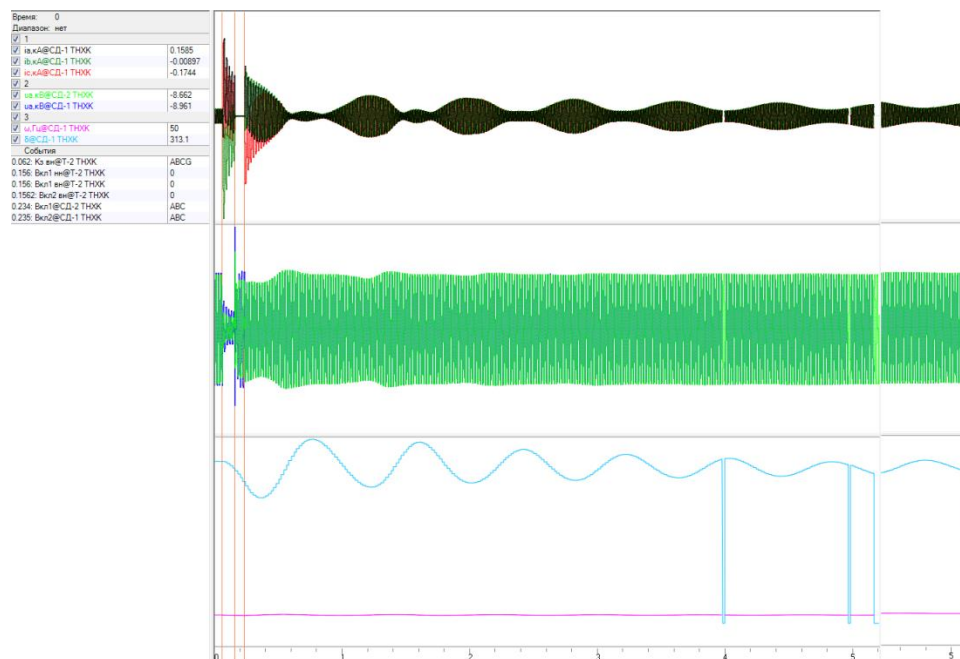


Рисунок 21 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла  
СД-1 при  $t_{авр}=0,07$  секунд

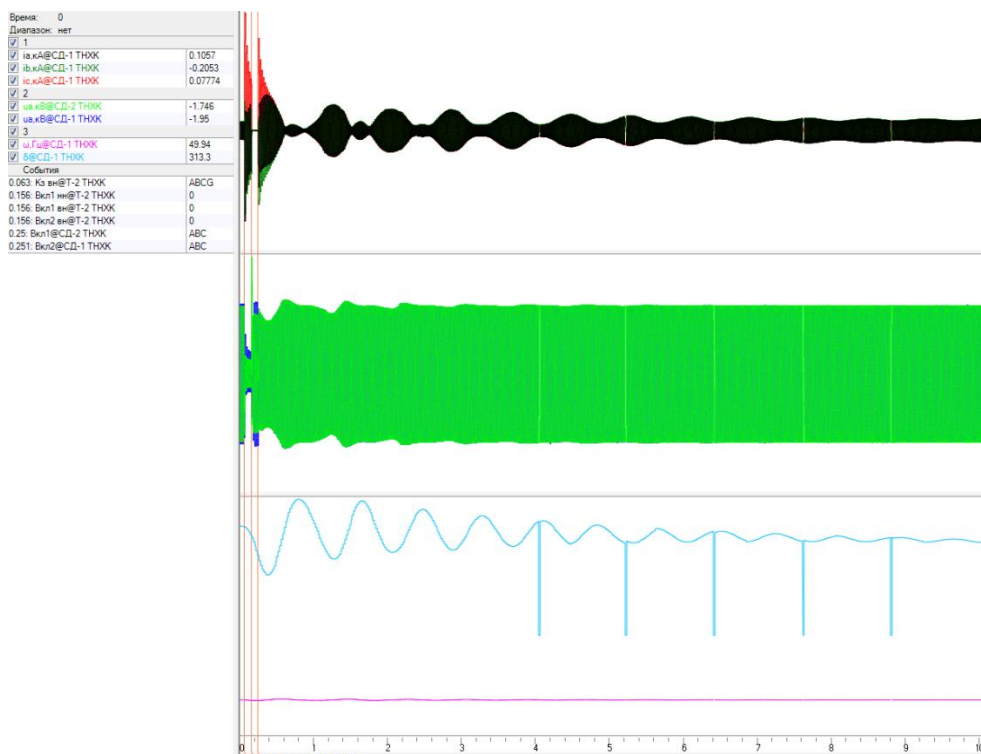


Рисунок 22 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла  
СД-1 при  $t_{авр}=0,09$  секунд



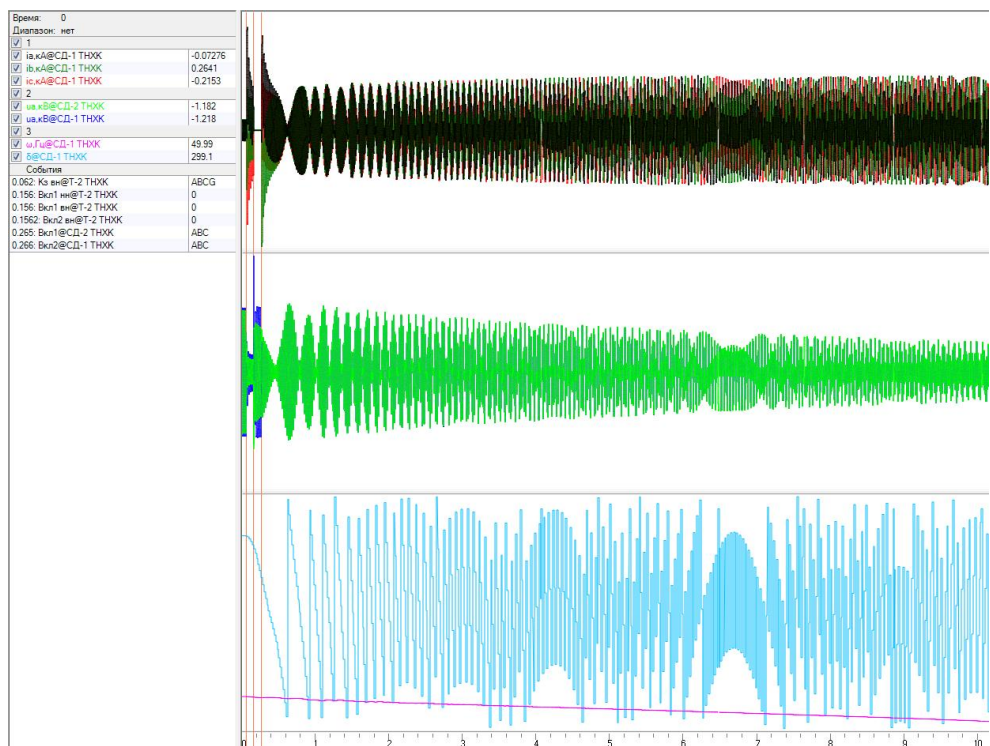


Рисунок 23 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-1 при  $t_{ABP}=0,1$  секунд

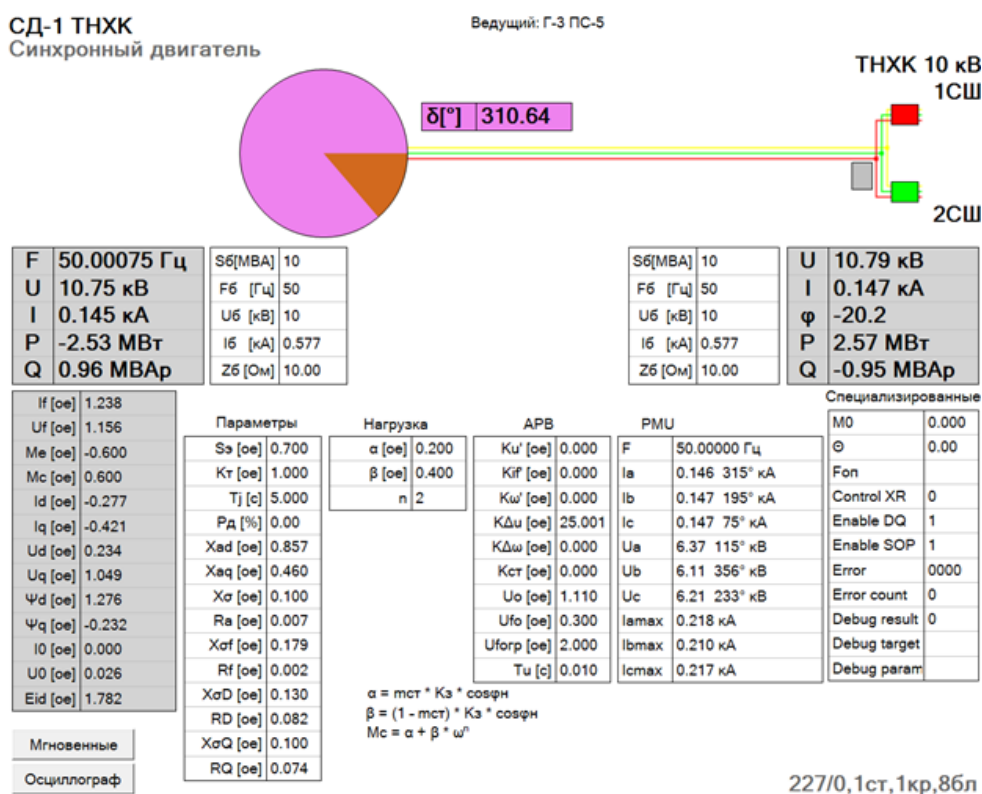


Рисунок 24 – Форма задания параметров СД1



СД-2 ТНХК  
Синхронный двигатель

Ведущий: Г-3 ПС-5

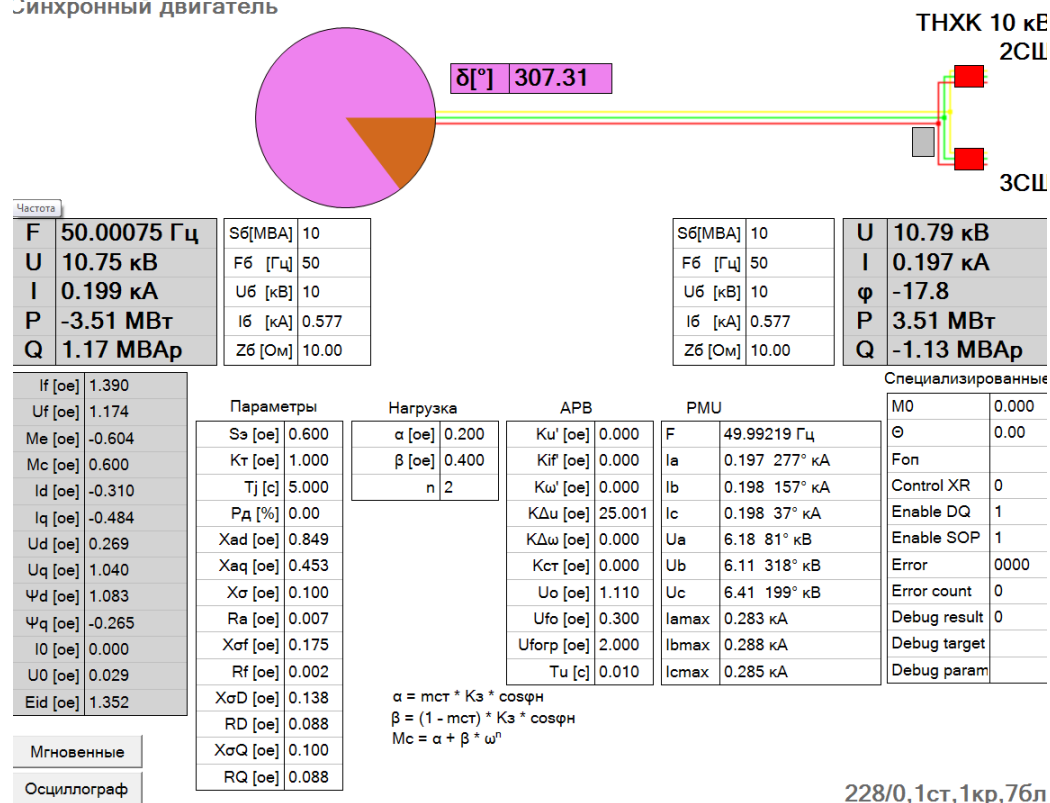


Рисунок 25 – Форма задания параметров СД2

Видно, что колебания СД1 после работы АВР присутствуют. Однако они носят затухающий характер, примерно до  $t_{ABP}=0,09$  секунд, далее собственный угол начинает «сползать», проворачиваться, что приводит к нарушению устойчивости. Это наглядно видно на рисунке 23 при  $t_{ABP}=0,1$  секунд – собственный угол проворачивается.

Далее уменьшим параметр СД1 ( $\beta=0,3$  о.е.) и проведем аналогичные исследования (рисунок 26).

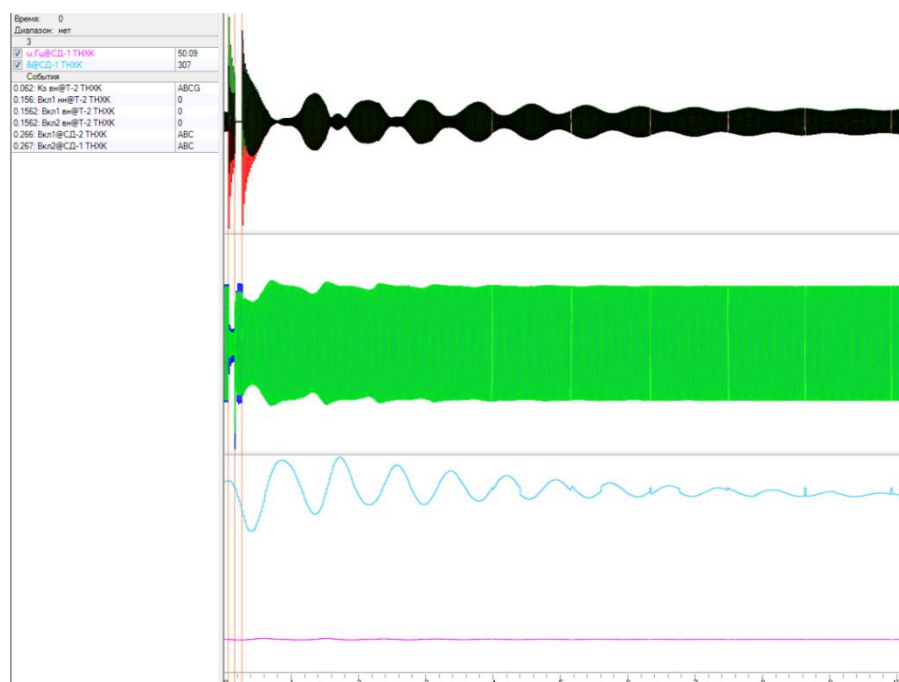


Рисунок 26 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-1 при  $t_{ABP}=0,1$  секунд

Далее увеличим параметр СД1 ( $\alpha = 0,25$  о.е.) и проведем аналогичные исследования (рисунок 27).

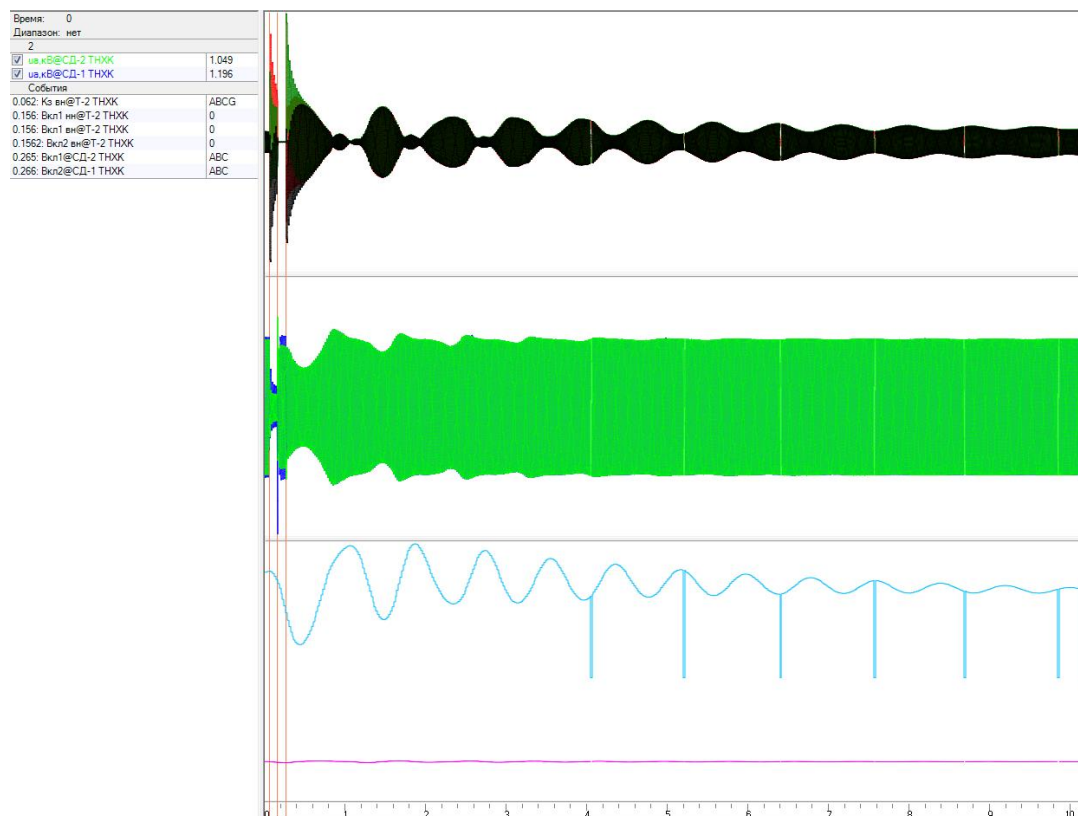


Рисунок 27 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-1 при  $t_{ABP}=0,1$  секунд

Видно, что колебания СД1 после работы АВР присутствуют, затухают и не приводят к нарушению устойчивости.

Далее увеличим параметр СД1 ( $\alpha = 0,25$  о.е. и  $\beta = 0,45$  о.е.) и уменьшим время АРВ до 0,02 секунд, и проведем аналогичные исследования (рисунок 28).

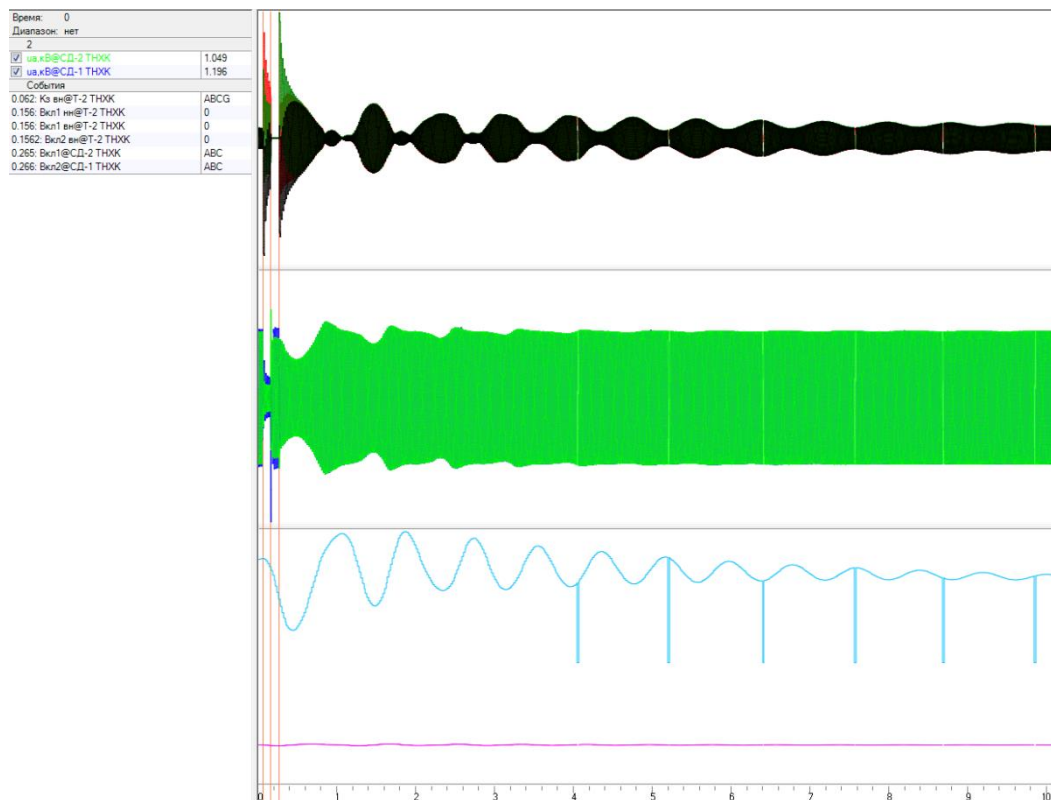


Рисунок 28 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-1 при  $t_{\text{АВР}}=0,02$  секунд

Видно, что колебания СД1 после работы АВР присутствуют, но затухают и не приводят к нарушению устойчивости. Это связано с уменьшением времени АРВ, то есть напряжение не успевает снизиться менее 20% от номинального и величина взаимного угла вектора напряжения синхронной машины и сети не успевает увечиться более  $30^{\circ}$ – $40^{\circ}$ . Поэтому целесообразнее использование в схемах АВР быстродействующих выключателей, например элегазовых с минимальной величиной срабатывания/отключения выключателей.

## 4.2 Исследование влияния времени работы АВР для СД2

В рамках данных исследований КЗ будет на высокой стороне трансформатора Т-3, затем через 0,1 секунду релейной защитой Т-3 отключается со всех сторон выключателями, а еще через 0,02 секунду АВР переводит питание синхронного двигателя СД2 с шины III на шину II (включается выключатель Q2.1). Данный сценарий представлен на рисунке 29.

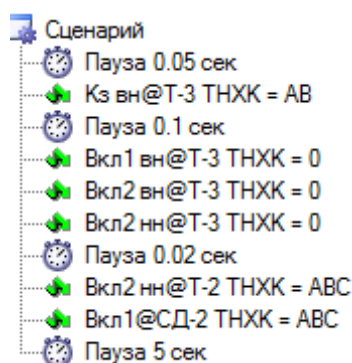


Рисунок 29 – Фрагмент разработанного сценария работы АВР для СД2

На рисунке 30-36 представлены осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-2 при заданных параметрах СД1 и СД2:

$$\alpha=0,2 \text{ о.е.}$$

$$\beta=0,4 \text{ о.е.}$$

$$S_{\Sigma}(\text{СД1})=0,7 \text{ о.е.}$$

$$S_{\Sigma}(\text{СД2})=0,6 \text{ о.е.}$$

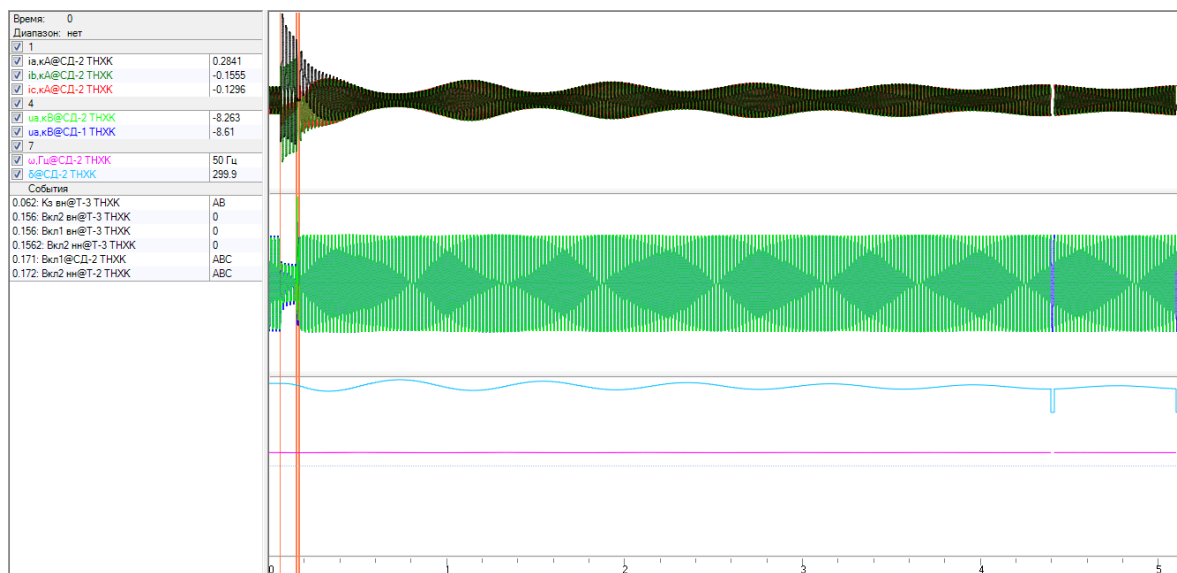


Рисунок 30 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-2 при  $t_{авр}=0,01$  секунд

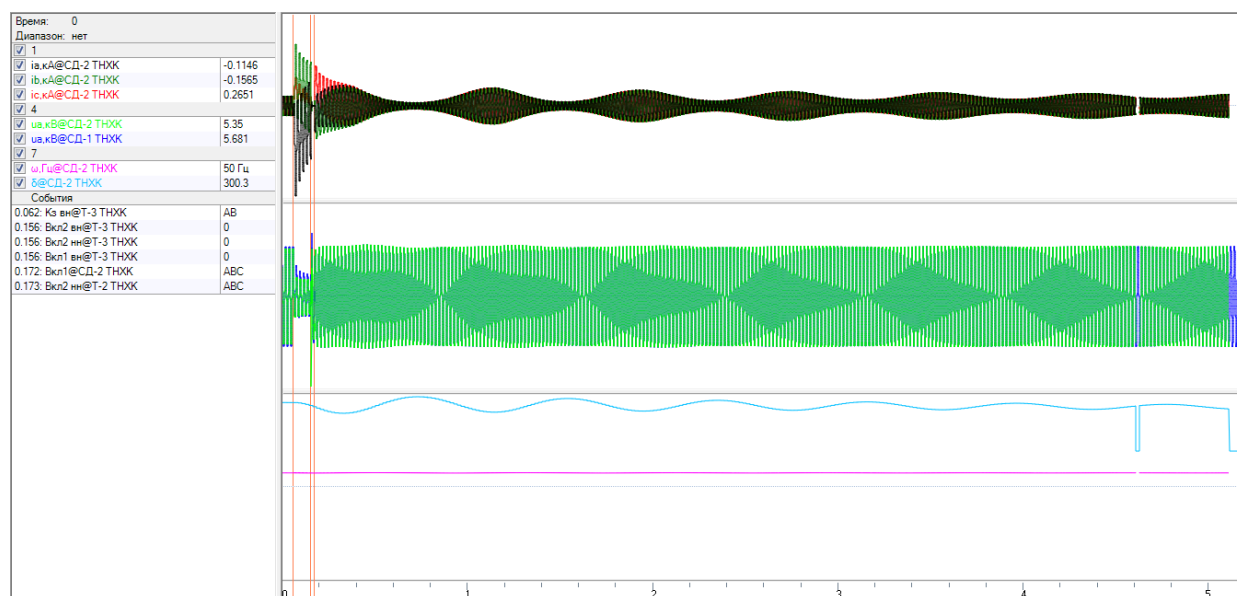


Рисунок 31 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-2 при  $t_{авр}=0,02$  секунд

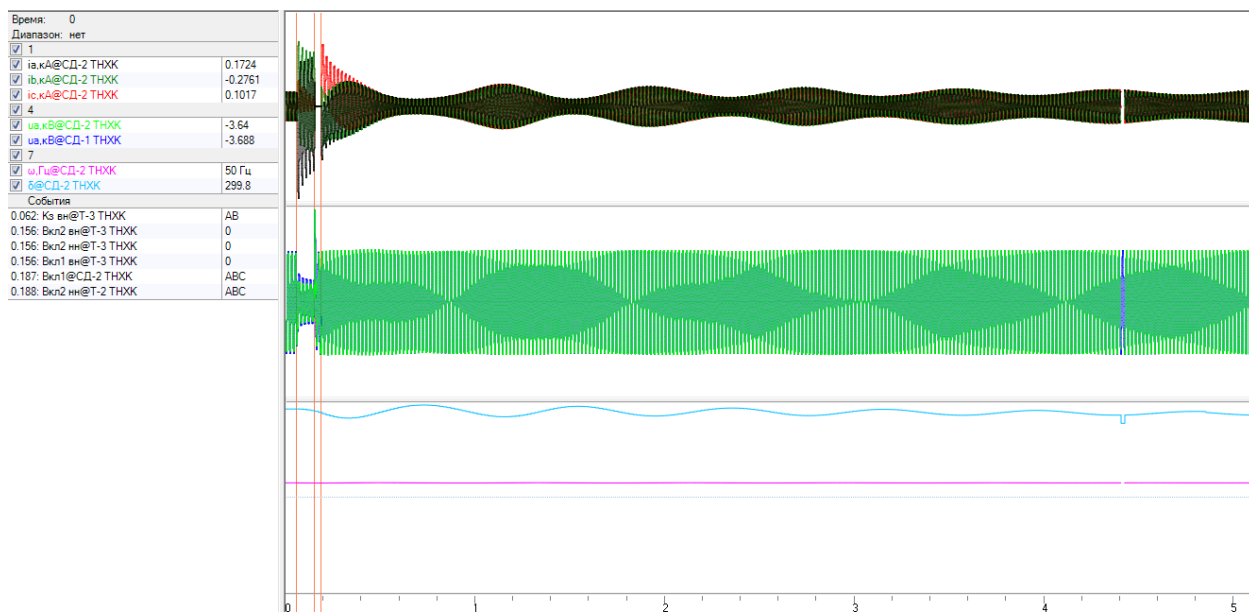


Рисунок 32 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-2 при  $t_{ABP}=0,03$  секунд

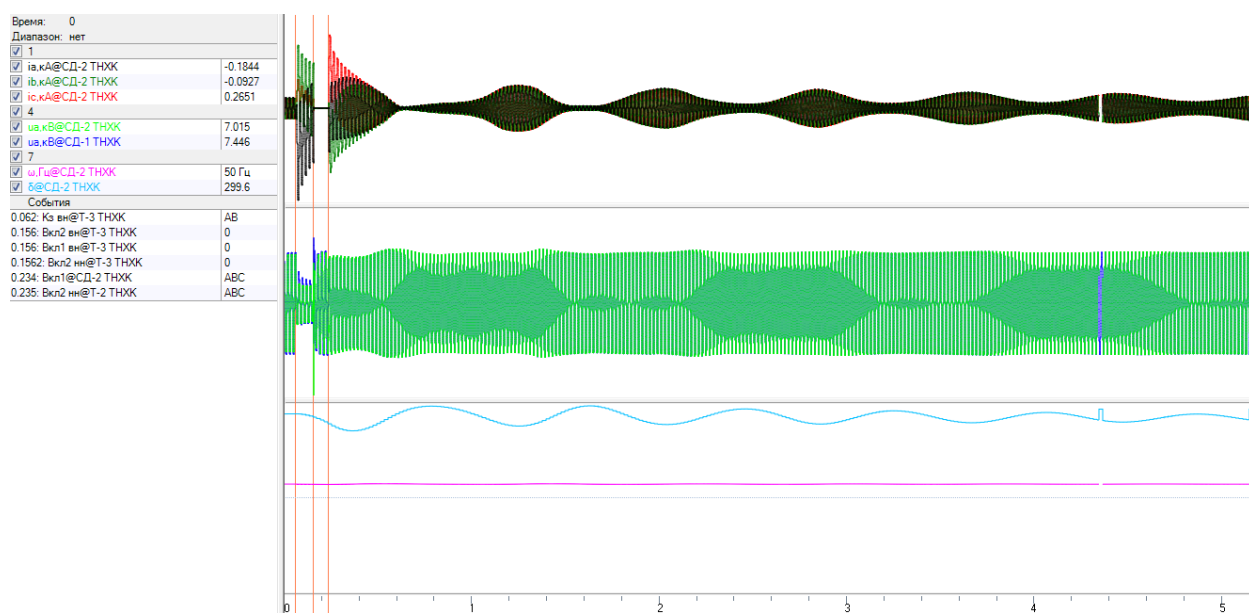


Рисунок 33 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-2 при  $t_{ABP}=0,07$  секунд



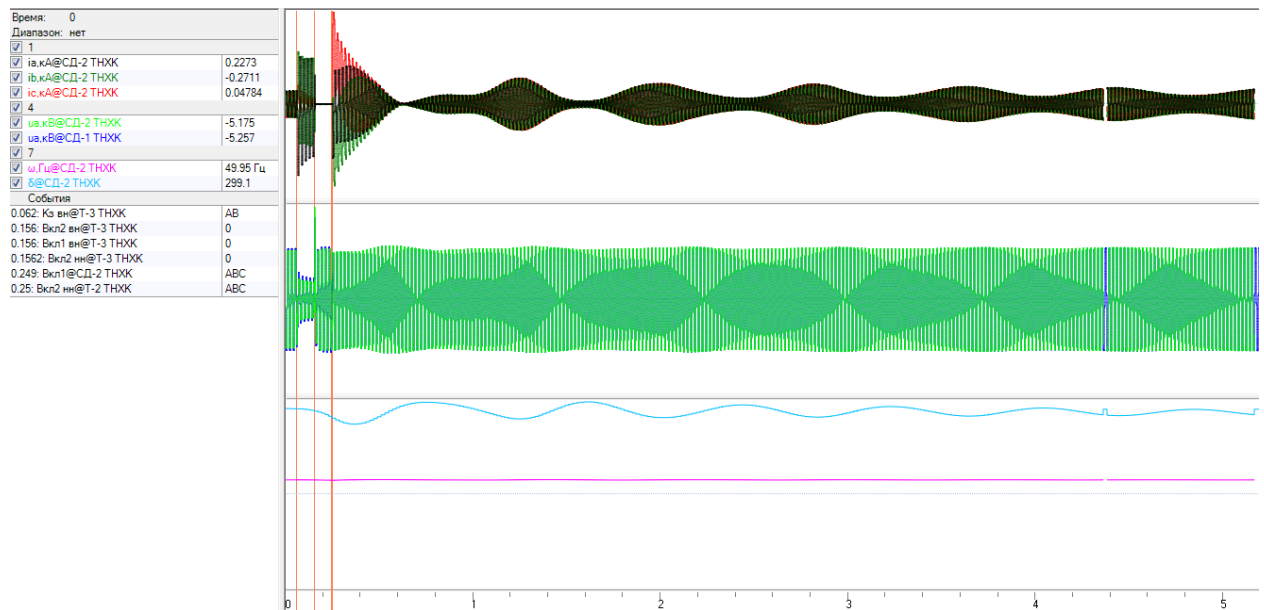


Рисунок 34 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла  
СД-2 при  $t_{ABP}=0,09$  секунд

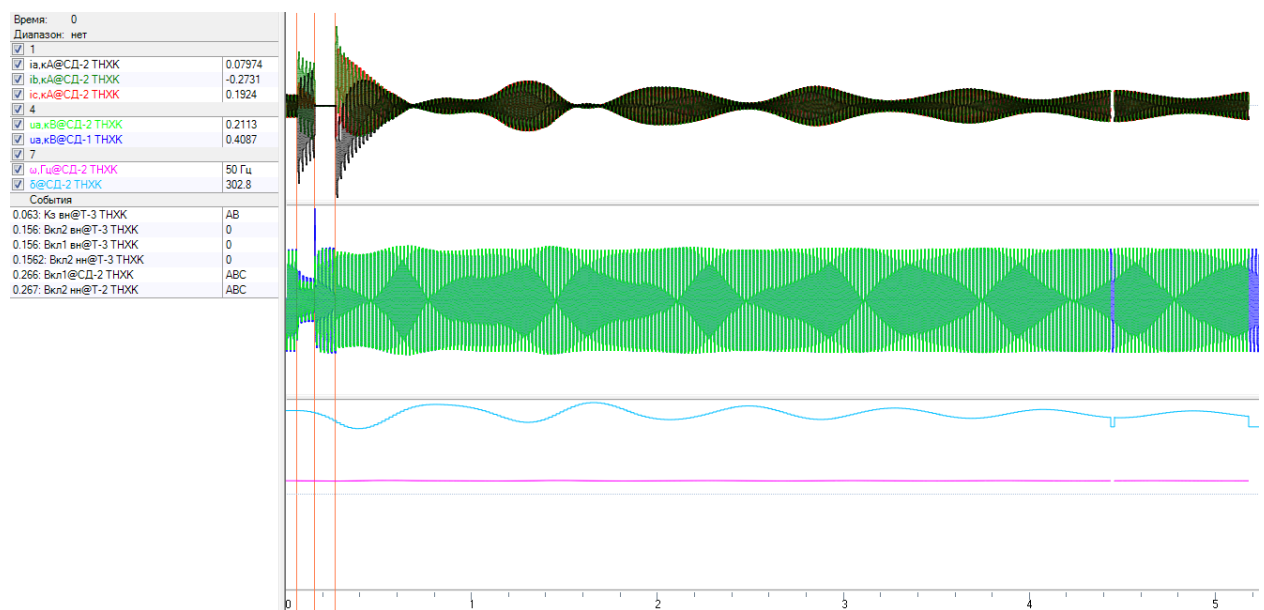


Рисунок 35 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла  
СД-2 при  $t_{ABP}=0,1$  секунд

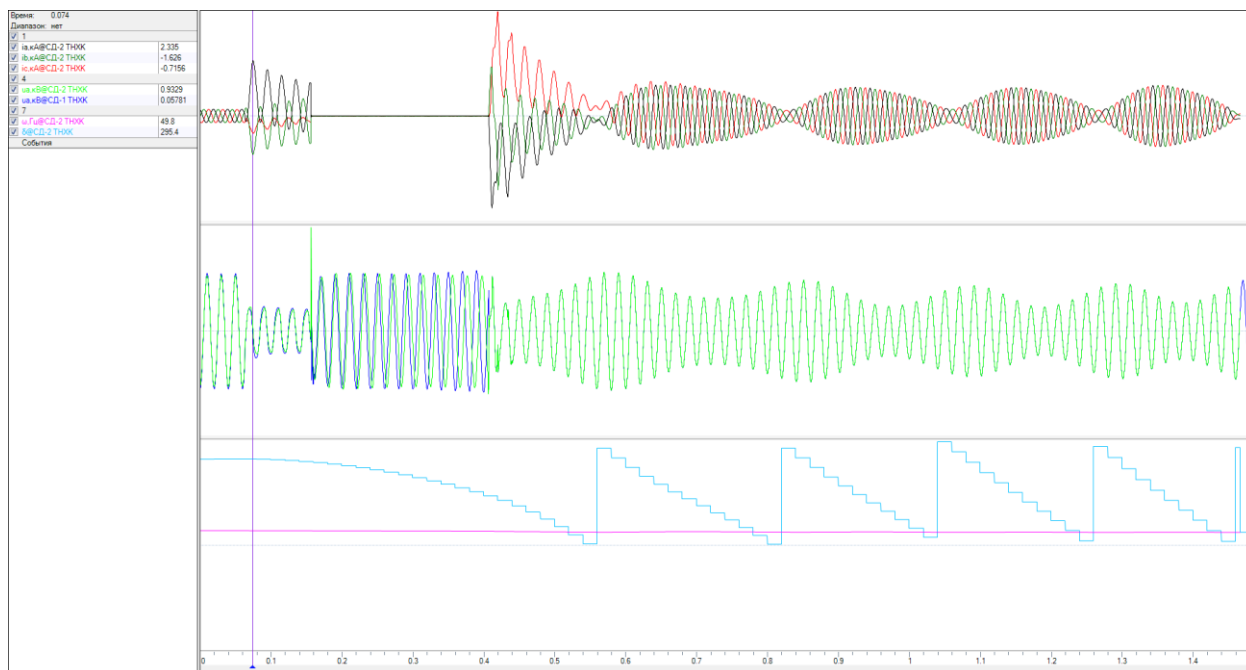


Рисунок 36 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-2 при  $t_{ABP}=0,3$  секунд

Видно, что колебания СД2 после работы АВР присутствуют. Однако они носят затухающий характер, примерно до  $t_{ABP}=0,3$  секунд, далее собственный угол начинает «сползать», проворачиваться, что приводит к нарушению устойчивости. Отметим, что предельное время АВР для СД2 до нарушения устойчивости большое, чем для СД1. Что обуславливается больше эквивалентной мощностью электрической машины:

$$S_{\Sigma}(СД1)=0,7 \text{ о.е.}$$

$$S_{\Sigma}(СД2)=0,6 \text{ о.е.}$$

Далее увеличим параметр СД1 ( $\alpha = 0,25$  о.е. и  $\beta = 0,45$  о.е.) и уменьшим время АВР до 0,1 секунд, и проведем аналогичные исследования (рисунок 37).



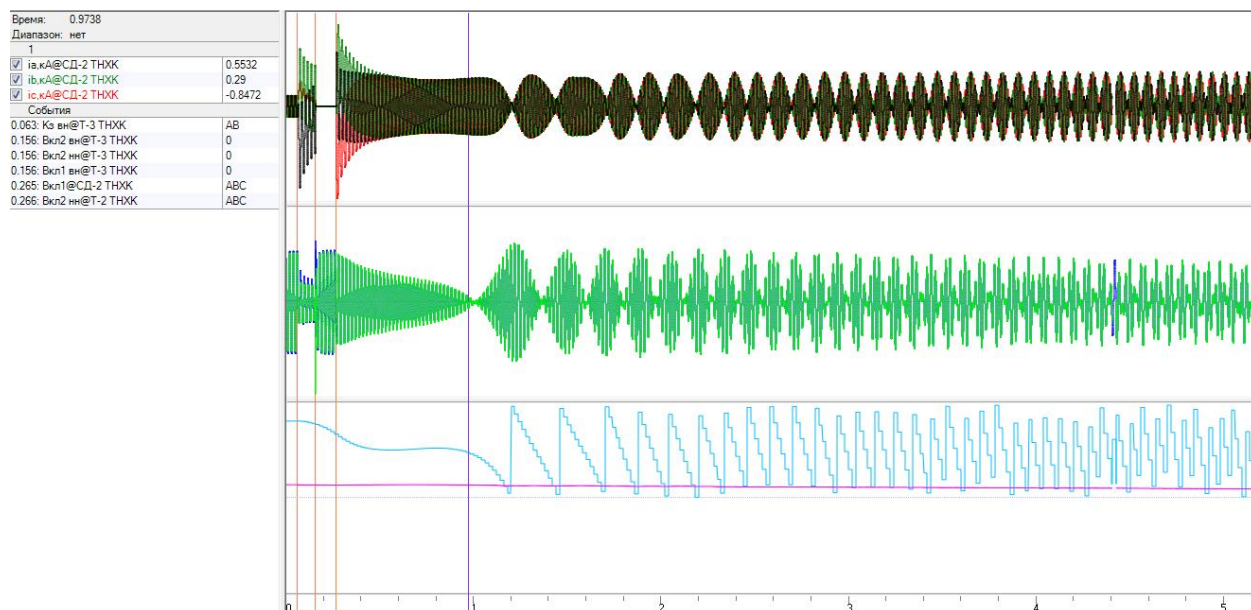


Рисунок 37 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-2 при  $t_{ABP}=0,1$  секунд

Видно, что двигатель пытается сохранить синхронную работу, однако угол проворачивается и устойчивость нарушается.

Повторим эксперимент, но уменьшим время АРВ до 0,02 секунд (рисунок 38).

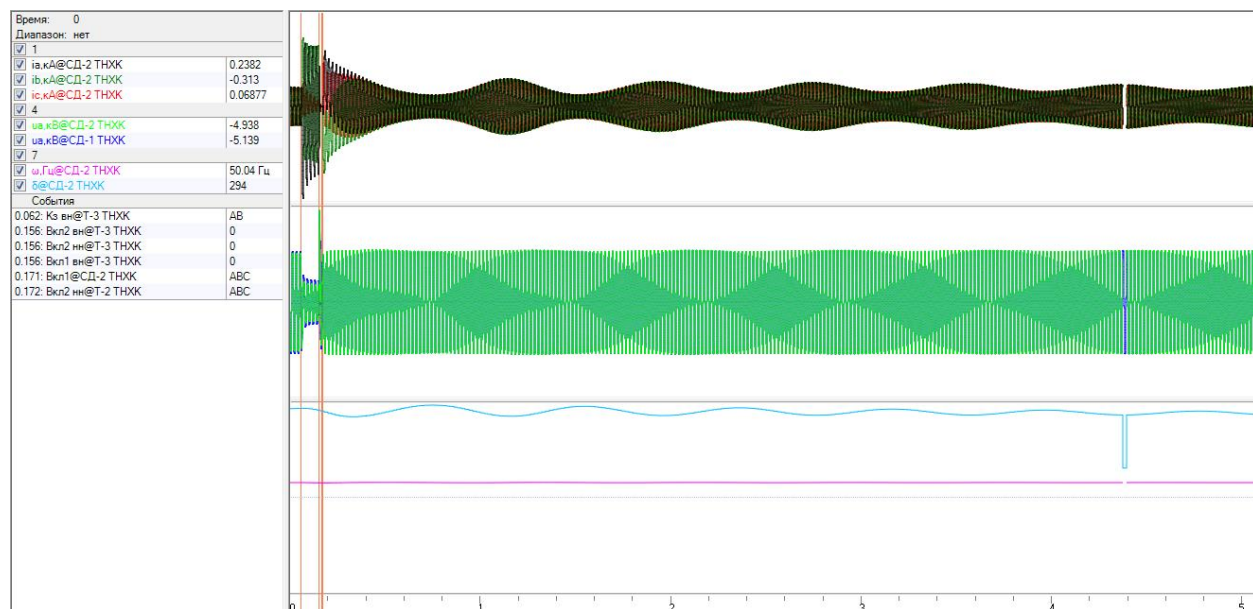


Рисунок 38 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-2 при  $t_{ABP}=0,02$  секунд

Видно, что снижение времени АРВ способствует сохранению синхронной работы двигателя сохраняется.

Повторим эксперимент, но увеличим параметр СД2 ( $\alpha = 0,4$  о.е. и  $\beta = 0,6$  о.е.) (рисунок 39).

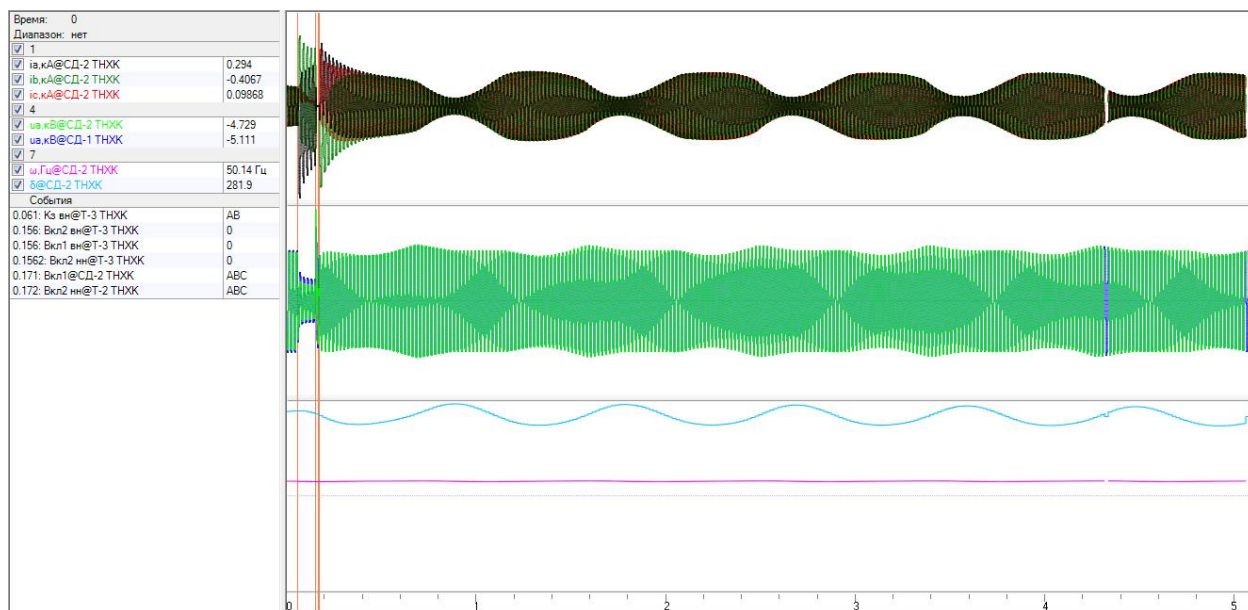


Рисунок 39 – Осциллограммы токов, напряжений, частоты и взаимного угла СД-2 при  $t_{ABP} = 0,02$  секунд

В целом полученные результаты позволяют сделать вывод, о том что снижение времени срабатывания АВР способствует сохранению синхронной работы двигателя сохраняется. Поэтому для повышения надежности электроснабжения схему питания ТНХК необходимо оснастить быстродействующим АВР (например, одной из фирм, представленной в таблице 1). При этом, как показывают результаты, для сохранения синхронной работы двигателей большой мощностью, то есть с большой мощностью подключаемой нагрузки (в работе это достигалось за счет изменения коэффициентов ( $\alpha$  и  $\beta$ ), можно выбирать время срабатывания времени АВР (то есть, в зависимости от типа: элегазовый, масляный, электромагнитный выключатель): чем меньше время срабатывания/отключения выключателя, тем больше вероятность сохранения синхронно работы двигателей. Это связано с уменьшением времени APB, то есть напряжение не успевает снизиться менее 20% от номинального, и

величина взаимного угла вектора напряжения синхронной машины и сети не успевает увеличиться более  $30^{\circ}$ – $40^{\circ}$ .

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5А6А1	Семенцову Ивану Александровичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОЭЭ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	-30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ и оценка конкурентоспособности НИ; SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: -определение трудоемкости работ; -определение структуры работ; -разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - амортизационные отчисления -заработная плата; - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение ресурсоэффективности проекта

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности НИ
2. Матрица SWOT
3. Цели и результат проекта
4. Диаграмма Гантта
5. Расчёт бюджета исследования
6. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5А6А1	Семенцов Иван Александрович	Семенцов	

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью финансового менеджмента является оценка проектируемой модели в рамках работы исследование автоматического ввода резерва с точки финансового менеджмента и ресурсоэффективности. Для решения цели были поставлены следующие задачи:

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать конкурентные технические решения проекта;
- выполнить планирование и организацию научного исследования;
- создать диаграмму Ганта
- определить бюджет научного проекта;
- определить ресурсоэффективность проекта.

### **5.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

На данный момент на рынке существует большое количество конкурентных разработок, способных производить точное и быстрое моделирование электроэнергетической системы, в частности моделирование работы ввода резерва. Среди разработчиков моделирующих программных комплексов, можно выделить отечественного и зарубежных производителей. При анализе конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения были выбраны два программных комплекса, с помощью которых можно провести моделирование.

На данный момент на рынке существует большое количество конкурентных разработок, способных производить точное и быстрое моделирование электроэнергетической системы, в частности моделирование работы регулятора ввода резерва. Среди разработчиков моделирующих программных комплексов, можно выделить отечественного и зарубежных

производителей. При анализе конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения были выбраны два программных комплекса, с помощью которых можно провести моделирование.

В таблице 1: – под индексом «1» приводится оценка расчетов моделирования работы ввода резерва, оценка методики выбора оптимальной настройки ввода резерва и получения осциллограмм электромагнитных и электромеханических переходных процессов с помощью Всережимного моделирующего комплекса реального времени ЭЭС;

– под индексом «2» приводится оценка расчетов моделирования работы ввода резерва, оценка методики выбора оптимальной настройки ввода резерва и получения осциллограмм электромагнитных и электромеханических переходных процессов с помощью ПК «PowerFactory»;

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентспособность	
		$B_1$	$B_2$	$K_1$	$K_2$
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Точность моделирования	0,05	5	5	0,25	0,25
2. Возможность моделирования различных видов электрических машин	0,05	5	4	0,25	0,2
3. Время расчета	0,05	5	3	0,25	0,15
4. Вид исходных данных	0,05	5	4	0,25	0,2
5. Доступность программного продукта	0,05	3	5	0,15	0,25
6. Интегрированность с другими комплексами	0,05	4	4	0,2	0,2
7. Возможность расчета переходных режимов	0,05	5	5	0,25	0,25
8. Возможность моделирования широкого спектра возмущений	0,05	5	4	0,25	0,2
9. Различные способы представления полученных результатов	0,05	5	4	0,25	0,2

10. Моделирование действий релейной защиты и противоаварийной	0,05	5	5	0,25	0,25
11. Возможность просмотра структурной схемы энергообъекта	0,05	5	4	0,25	0,2
12. Пользовательский интерфейс	0,05	5	3	0,25	0,15
13. Частота программного обновления	0,05	4	5	0,2	0,25
14. Системные требования компьютера для нормального процесса работы в программном комплексе	0,05	4	3	0,2	0,15
15. Возможность расчета сразу нескольких КЗ	0,05	5	5	0,25	0,25
16. Знание программного комплекса специалистами в области электроэнергетики	0,05	3	4	0,15	0,2
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность технологии	0,05	5	5	0,25	0,25
2. Цена	0,05	4	5	0,2	0,25
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	0,25	0,25
4. Финансирование научной разработки	0,05	5	5	0,25	0,25
Итого	1			4,6	4,35

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$\text{Б}_i$  – балл  $i$ -го показателя.

По данным таблицы можно сделать вывод о том, что целесообразнее использовать ПК «ВМК ЭЭС» с точки зрения технических критериев оценки ресурсоэффективности и экономических критериев оценки эффективности.

## 5.2 SWOT-анализ

SWOT – анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, и позволяет определить:

Сильные стороны и преимущества микропроцессорного реле, его конкурентоспособная сторона;

Слабые стороны микропроцессорного реле в конкурентной борьбе с другими типами реле;

Возможности для развития и улучшения конкурентной позиции;

Угрозы, наносящие ущерб проекту и наиболее эффективные действия для защиты от них.

Результаты SWOT-анализа представлены ниже.

Таблица 5 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Удобное внедрение в энергосистему.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Большой срок эксплуатации.</p> <p>С4. Высокая безопасность и надежность данной системы по сравнению с другими.</p> <p>С5. Высокое качество продукции.</p> <p>С6. Использование современных тенденций</p> <p>С7. Простота в использовании</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Высокая стоимость</p> <p>Сл2. Необходимость в высококвалифицированном персонале</p> <p>Сл3. Малая ремонтпригодность</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Развитие данной отрасли в России</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Возможность подключения в сеть ЭВМ.</p> <p>В4. Финансовая поддержка государства для развития</p>	<p>Вовлечение в производство АВР позволяет продлить срок эксплуатации, повысить надежность защиты защищаемого объекта и способствует привлечению поддержки в развитии технологии со стороны государства.</p>	<p>Введение нового технологически развитого оборудования, то есть АВР может повлечь за собой необходимость переквалификации персонала и повышение их компетенции</p>



Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства из-за ухудшения экономической ситуации в стране У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Отсутствие стимула для переоборудования защищаемых объектов.	В ближайшем будущем на энергообъектах будут установлены АВР за счет большего количества преимуществ по сравнению с остальными, при благоприятной экономической ситуации в стране	Наиболее значимым минусом является поиск источников финансирования для поддержания конкурентоспособности и дальнейшего развития производства
---	--	--

Анализируя полученную интерактивную матрицу проекта, видим, что интегрирование АВР в энергосистему имеет больше преимуществ, чем недостатков, и способно, конкурируя с другими типами, занять лидирующее место на рынке.

### 5.3 Планирование научно-исследовательских работ

#### 5.4 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Результат представлен в таблице 6.

Таблица 6 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель
	3	Подбор материалов и литературы по теме	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель

Теоретические исследования	5	Изучение материалов и литературы	Инженер
	6	Выбор программного обеспечения	Инженер
	7	Изучение программного обеспечения	Инженер
Экспериментальные исследования	8	Исследование переходных характеристик звеньев математической модели АВР	Инженер
	9	Анализ влияния коэффициентов по каналам АВР на режимы электрической сети	Инженер
Обобщение и оценка результатов	10	Внесение корректив по эксперименту	Инженер
Оформление отчета по НИР	11	Оценка итогов полученных результатов	Руководитель
	12	Составление отчета по проделанной работе	Инженер

### 5.5 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения проекта

В данном разделе определим трудоемкость работы инженера и руководителя и построим диаграмму Ганта, которая характеризует даты начала и окончания выполнения работ.

В приведённой ниже таблице приведены расшифровки величин, которые используются в таблице 7.

Таблица 7 – Обозначение величин

Обозначение	Расшифровка	Единицы измерения
$t_{ожі}$	Ожидаемая трудоемкость выполнения $i$ -ой работы	чел.-дни
$t_{mini}$	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной $i$ -ой работы	чел.-дни
$t_{maxi}$	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной $i$ -ой работы	чел.-дни

$T_{ki}$	Продолжительность выполнения $i$ -й работы в календарных днях	дни
$T_{pi}$	Продолжительность выполнения $i$ -й работы в рабочих днях	дни

Таблица 8 – Временные показатели проекта

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожi}$ , чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	2		5		3,2		3		4	0
Выбор направления исследования	2		4		2,8		3		4	
Подбор материалов и		2		3		2,4		2		4
Календарное планирование работ по теме	1		3		1,8		2		2	
Изучение материалов и литературы		5		6		5,4		5		7
Выбор программного обеспечения		4		5		4,4		4		6
Изучение программного обеспечения		8		10		8,8		9		13
Исследование переходных характеристик звеньев математической модели АВР		8		10		8,8		9		13
Анализ влияния коэффициентов по каналам АВР на режимы электрической сети		6		8		6,5		7		10
Внесение корректив по эксперименту		4		6		4,8		5		7
Оценка эффективности	1		3		1,8		2		2	
Составление отчета по проделанной		4		10		6,4		6		9

Общее количество дней для выполнения НТИ	Календарных	81
	Рабочих	69
Общее количество дней, в течение которых работал инженер	Календарных	69
	Рабочих	47
Общее количество дней, в течение которых работал руководитель	Календарных	12
	Рабочих	10

Календарная продолжительность выполнения НТИ составит 80 дней. Руководитель при этом задействован в течение 11 календарных дней, инженер в течение 69 календарных дней. При этом общее количество рабочих дней руководителя составляет 10, инженера – 47. Начало работ запланировано на 28 февраля 2021 г, окончание работ запланировано на 19 мая 2021 г. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может незначительно отличаться.

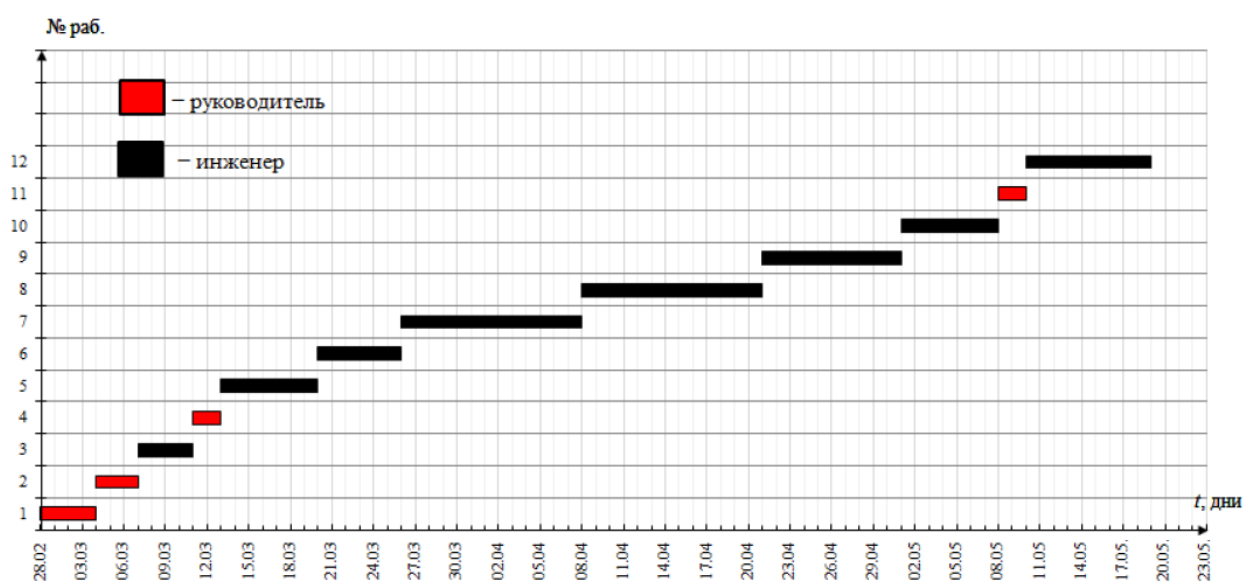


Рисунок 40 – График Гантта

Таким образом, в данном разделе был спланирован поэтапный график выполнения ВКР, для которого были определены сроки выполнения каждой стадии работ. Построена диаграмма Гантта, которая наглядно показывает следование выполнения этапов дипломного проектирования, исходя из отведенных сроков.

## 5.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ производится расчет:

- материальных затрат НТИ;
- оплата труда;
- отчислений во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- амортизация;
- накладные расходы.

## 5.7 Расчет материальных затрат

Статья включают все затраты, связанные с приобретением материалов, необходимого для проведения работ по конкретной теме.

В таблице 9 представлены статьи материальных затрат, связанных с выполнением проекта.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Цена за единицу, руб.	Кол-во	Общая стоимость, руб.
Ручка	35	4	140
Карандаш	30	4	120
Бумага	250	2	50
Картридж	1000	1	1000
Ластик	15	2	30
USB накопитель	500	1	500
Итого			1840

По таблице 9 материальные затраты на выполнение данного научно-технического исследования составляют 1840 рублей.

## 5.8 Основная заработная плата исполнителей работ

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $З_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ):

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8);

$З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} = \frac{45\,045 \cdot 10,4}{251} = 1866,41 \text{ руб.},$$

где  $З_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	66	118
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	24
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	234

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 23\,100 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 45\,045 \text{ руб.}$$

где  $З_{\text{ТС}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $З_{\text{ТС}}$ );

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 9

Таблица 11 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{ТС}}$ , руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$ , руб	$З_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$З_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	31 000	0,3	0,2	1,3	45 045	1866,4	10	18664,1
Инженер	17 000	0,3	0,2	1,3	33 150	1586,6	47	74573,3
Итого								93237,4

Таким образом, итоговая сумма оплаты труда получилась 93 237,4 руб.

### 5.9 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Руководитель:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 18664,1 = 2239,68 \text{ руб}$$

Инженер:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 74573,3 = 8948,80 \text{ руб}$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таким образом, дополнительная заработная плата получилась 11 188,48 руб.

### 5.10 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ)

и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

Руководителя:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot (18664,1 + 2239,68) = 6\,312,9 \text{ руб}$$

Инженер:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot (74573,3 + 8948,8) = 25\,223,7 \text{ руб}$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). В 2021 году равен 30,2%.

Таким образом, страховые отчисления получились 31 536,6 руб.

### 5.11 Амортизационные отчисления

Для возмещения износа оборудования, а также для обновления программного обеспечения рассчитываются амортизационные отчисления.

Для возмещения износа оборудования, а также для обновления программного обеспечения рассчитываются амортизационные отчисления.

Таблица 12 – Стоимость необходимого программного обеспечения и оборудования

№ п/п	Наименование	Кол-во ед.	Цена единицы, руб.	Общая стоимость, руб.
1	Компьютер	1	40 000	40 000
2	Программно вычислительный комплекс Mathcad Application	1	120 360	120 360
Итого:				160 360

В связи с длительностью использования, учитывается данная стоимость с помощью амортизации по формулам:

- для компьютера:

$$A_1 = \frac{C \cdot N_{\text{дн.исп.}}}{\Gamma_{\text{ср.служ.}} \cdot 365} = \frac{40\,000 \cdot 69}{3 \cdot 365} = 2521 \text{ руб.}$$



- для программного комплекса:

$$A_2 = \frac{C \cdot N_{\text{дн.исп.}}}{\Gamma_{\text{ср.служ.}} \cdot 365} = \frac{120360 \cdot 20}{5 \cdot 365} = 1319 \text{ руб.}$$

где  $N_{\text{дн.исп.}}$  - продолжительность в днях (для компьютера равна количеству календарных дней инженера, для программного комплекса равна продолжительности работ в календарных днях, в течение которых он использовался;

$\Gamma_{\text{ср.служ.}}$  - срок полезного использования (для компьютера равен 3 года, для программного комплекса равен 5 лет).

Суммарная амортизация составила:

$$A = A_1 + A_2 = 2521 + 1319 = 3840 \text{ руб.}$$

Итого, затраты на амортизацию составляют 3840 руб.

### 5.12 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} = \\ &= (Z_{\text{мат}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{амор}}) \cdot 0,16 = \\ &= (1840 + 93237,40 + 11188,49 + 28299,41 + 3840) \cdot 0,16 = 22140 \text{ руб.} \end{aligned}$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

### 5.13 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при

формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице.

Таблица 13 – Бюджет затрат НТИ

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1	Материальные затраты НТИ	1840	1,15
2	Затраты по основной заработной плате	93237,40	58,08
3	Затраты по дополнительной заработной плате	11188,49	6,97
4	Отчисления во внебюджетные фонды	28299,41	17,63
5	Амортизация	3840	2,39
6	Накладные расходы	22140	13,79
Бюджет затрат НТИ		160545,30	100

Наибольший процент от общей суммы бюджета затрат НТИ составили затраты по основной заработной плате исполнителей – 58,08%, наименьший процент составили материальные затраты НТИ – 1,15%.

#### 6.14 Ресурсоэффективность

Ресурсоэффективность научного исследования определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности, который имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент проекта;

$b_i$  – балльная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 14 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Безопасность	0,30	4
2. Надёжность	0,30	5
3. Удобство в эксплуатации	0,15	3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	4
5. Энергоэкономичность	0,10	3
Итого:	1,00	4,05

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого проекта:

$$I_{pi} = 0,3 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,10 \cdot 3 = 4,05$$

Таким образом оценка ресурсоэффективности научного исследования дает достаточно хороший результат (4,05 из 5), что свидетельствует об эффективности его реализации.

Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение:

1. Оценочная карта сравнения технических решений конкурентов показала, что среди ПО, наилучшими показателями конкурентоспособности обладает Всережимный моделирующий комплекс реального времени ЭЭС, поэтому использование данного программного комплекса при проектировании будет наиболее эффективным.

2. SWOT-анализ проекта, в ходе которого были выявлены потенциальные внутренние и внешние сильные и слабые стороны, возможности и угрозы. Из анализа выяснили, что потенциальных сильных сторон у проекта больше, чем слабостей. Сильные стороны проекта: оборудование высокого качества, большой срок службы.

3. В ходе планирования научно-исследовательских работ определён перечень работ, выполняемый рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: руководитель и инженер. Согласно составленному плану работ длительность трудовой занятости сотрудников исследовательского проекта составила 80 дня (69 дней – занятость инженера, 11 дней – длительность работы руководителя). На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, построенный на основе диаграммы Ганта, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – это исследование переходных характеристик звеньев математической модели АВР.

4. Бюджет научно-технического исследования составил 160 545,30 руб. Бюджет НТИ состоит из материальных затрат (1840 руб.), амортизационных отчислений (3840 руб.), затрат на оплаты труда (93 237,40 руб.), отчислений во внебюджетные фонды (28 299,41руб.) и накладных расходов (22 140 рубля).

5. Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении ничуть не уступает остальным вариантам с позиции ресурсосбережения.

6. В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» был выполнен анализ конкурентоспособности, в котором было установлено, что выбор Всережимного моделирующего комплекса реального времени ЭЭС является более эффективным по сравнению с аналогами. Длительность работ исполнителей проекта составляет 11 дней для руководителя и 69 дней для инженера. После формирования бюджета затрат на проектирование суммарные капиталовложения составили 160 545,30 руб. Проект экономически целесообразен, что определено при помощи показателя ресурсоэффективности проекта.

7. Капиталовложения в размере 160 545,30 рублей позволят исследовать автоматический ввод резерва. Всережимный моделирующий

комплекс реального времени ЭЭС позволит оптимизировать работу энергосистемы и сохранять синхронизм при малых возмущениях системы.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5A6A1	Семенцову Ивану Александровичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

**Исследование автоматики ввода резерва подстанции «ГПП-3» 110/10 кВ Томской энергосистемы**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочее место инженера, выполняющего НИР находятся в помещении лаборатории для работы с ВМК РВ ЭЭС
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>— специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>— организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	- ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя - СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи».
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: - Отклонение показателей микроклимата - Превышение уровня шума - Повышенный уровень электромагнитного излучения - Недостаточная освещенность рабочей зоны - Перенапряжение зрительных анализаторов - Статические физические нагрузки Опасные факторы: - Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	- анализ воздействия объекта на атмосферу: отсутствует - анализ воздействия объекта на литосферу: бытовые отходы. Отходы, образующиеся при поломке ПЭВМ. анализ воздействия объекта на гидросферу: отсутствует
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Наиболее вероятным ЧС может быть пожар в здании

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
--------	-----	---------	------

3-5А6А1	Семенов Иван Александрович	Семенов	
---------	----------------------------	---------	--

## **6 Социальная ответственность**

В данной работе проводились исследования автоматического ввода резерва и его переходных характеристик, анализ влияния коэффициентов по каналам АВР на режимы электрической сети. А также влияние настроечных параметров по каналам АВР на динамические режимы электрической сети.

При выполнении данной работы рабочими зонами являются: лаборатория на объекте, где происходит проектирование и исследование АВР. Здесь располагается несколько рабочих компьютеров со специализированными программами.

Экспериментальная установка находится в лаборатории 8-ого корпуса ТПУ.

## **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Большое значение в работе имеет организация рабочих мест сотрудников и создание благоприятных условий труда.

Работа в лаборатории обычно отличается малой двигательной активностью, монотонностью, длительным нахождением в закрытом помещении. Всё это вызывает быструю утомляемость и отражается на результатах труда.

Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определенной длительности непрерывной работы на твердомере, ПК и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности. Трудовая деятельность в лаборатории с ПК относится к категории А – первая категория тяжести [14].

Рабочее место в лаборатории должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [13]. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м<sup>2</sup>, высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м<sup>3</sup> на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.



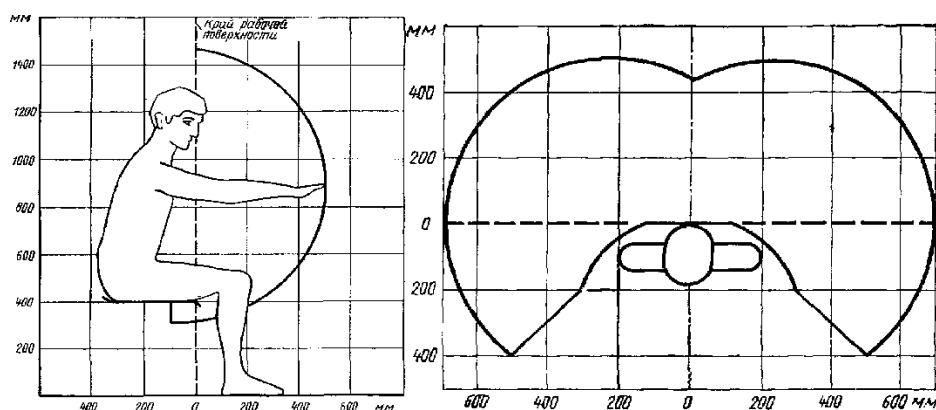


Рисунок 41 – Размерные характеристики рабочего места

## 6.2 Производственная безопасность

### 6.3 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Для идентификации опасных и вредных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [15]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для данной производственной среды представлена в таблице 15.

Таблица 15 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Отладка	Тестирование	
Повышенный уровень электромагнитного излучения	+	+	+	<p>- СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи».</p> <p>- СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для</p>
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	

Превышение уровня шума	+	+	+	<p>человека факторов среды обитания".</p> <p>- СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.</p> <p>- СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.</p> <p>- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность</p> <p>Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.</p> <p>- СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.</p>
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	
Перенапряжение зрительных анализаторов	+	+	+	
Статические физические нагрузки	+	+	+	

Основным документом, определяющим условия труда на персональных ЭВМ, являются СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи». В Правилах указаны основные требования к помещениям, микроклимату, шуму и вибрации, освещению помещений и рабочих мест, организации и оборудованию рабочих мест.

### **Отклонение показателей микроклимата**

Значимым физическим фактором является микроклимат рабочей зоны (температура, влажность и скорость движения воздуха).

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха влияют на теплообмен и необходимо учитывать их комплексное воздействие. Нарушение теплообмена вызывает тепловую гипертермию, или перегрев [16].

Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха производственных помещений для работ,

производимых сидя и не требующих систематического физического напряжения (категория Ia), приведены в табл. 2, в соответствии СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиеническими требованиями к микроклимату производственных помещений» [16].

Отопление лаборатории и корпуса в целом водяное с применением радиаторов, что обеспечивает постоянное и равномерное нагревание воздуха в холодное время года. В рабочем помещении имеется как естественная вентиляция, так и принудительная. Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Таблица 16 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1

Влажность в помещении 8 корпуса ТПУ составляет 40-60%. Более высокая влажность крайне нежелательна, потому что может плохо повлиять на технику и документы. Намного более распространена противоположная проблема: слишком сухой воздух. Увлажнитель воздуха как правило, это самый простой выход в случае, если влажность в кабинете не соответствует норме

### **Недостаточная освещенность рабочей зоны**

Источниками света могут быть как естественные, так и искусственные объекты. Естественным источником в помещении служит солнце, искусственными являются электрические лампочки. При длительной работе в условиях недостаточной освещенности и при нарушении других параметров

световой среды зрительное восприятие снижается, развивается близорукость, болезнь глаз, появляются головные боли [13].

По нормативу СанПиН 1.2.3685-21 [17] освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего оборудования должна быть 300 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

### **Повышенный уровень шума**

Шум с уровнем звукового давления до 30...35 дБ привычен для человека и не беспокоит его. Повышение этого уровня до 40...70 дБ в условиях среды обитания приводит к неблагоприятным для организма последствиям. Шум создает значительные нагрузки на нервную систему человека, оказывает на него психологическое воздействие [20].

Основным источником шума в комнате являются вентиляторы охлаждения от ЭВМ. Уровень шума колеблется от 20 до 30 дБА. Согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [26], при выполнении основной работы на ПЭВМ уровень звука на рабочем месте не должен превышать 50 дБА. Следовательно, можно считать, что рабочее место соответствует указанным нормам.

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма [20]. Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и

снижение производительности труда, появление шумовой патологии. Предельно допустимые уровни шума для объектов типа аудитории для теоретических разработок нормируются ГОСТ 12.1.003-2014, СанПиН 2.2.4/2.4.1340-03. Значения представлены в табл. 17 (для постоянных шумов).

Таблица 17 – Значения ПДУ шума

Рабочее место	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Меры снижения шума на рабочем месте. Один из способов снизить шум на рабочем месте, можно с помощью уменьшение шума в источнике. Рекомендуется такое мероприятие, как использование наименее шумного оборудования. В частности, установку вентиляторов меньшей мощности, удовлетворяющих условиям работы оборудования.

В данной работе уровень шума на рабочем месте соответствует указанным нормам.

### **Повышенный уровень электромагнитного излучения.**

Контакт с электромагнитными излучениями представляет существенную опасность для человека, по сравнению с другими вредными факторами (повышенное зрительное напряжение, психологическая перегрузка, сохранение длительное время неизменной рабочей позы). В рассматриваемом случае источником электромагнитного излучения является компьютерная техника. Длительное воздействие интенсивных электромагнитных излучений промышленной частоты может вызывать повышенную утомляемость, появление сердечных болей, нарушение функций центральной нервной системы [18].

Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250 нТл, и 25 нТл в диапазоне от 2 до 400 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500 В [18]. В ходе

работы использовалась ПЭВМ со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5 В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В.

Согласно ГОСТ 12.1.007-76. [21], конструкция ПЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от корпуса не более 0,1 мбэр/ч (100мкР/ч). Предел дозы облучения для работников ВЦ (операторы, программисты) составляет 0,5 бэр/год.

Для снижения излучений необходимо выполнить следующее: сертифицировать ПЭВМ (ПК) и аттестовать рабочие места; применить экраны и фильтры; произвести организационно-технические мероприятия.

Нормы электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ приведены в табл. 18, в соответствии с [18].

Таблица 18 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемые ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряжённость электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

**Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека**

ГОСТ 12.1.038-82 устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека.

Во время нормального режима работы оборудования опасность поражения электрическим током практически отсутствует, однако существуют аварийные режимы работы, когда происходит случайное

электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека током может произойти в следующих случаях: при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ; при прикосновении к нетоковедущим частям, находящихся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции; при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением; при возникновении короткого замыкания в электроприборе.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются [12]:

изолирование токоведущих частей, исключающее возможное соприкосновение с ними; установки защитного заземления; наличие общего рубильника; своевременный осмотр технического оборудования, изоляции.

Значения напряжения прикосновения и силы тока, протекающего через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме работы электроустановки, не должны превышать значений, приведенных в табл. 5.

Таблица 5 – Предельно допустимые значения напряжения соприкосновения и  
силы тока

Род и частота тока	Наибольшие допустимые значение	
	$U_{пр}$ , В	$I_h$ , мА
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Переменный, 400 Гц	3	0,4
Постоянный	8	1,0

#### 6.4 Экологическая безопасность

При работе в лаборатории, от установочного стенда не выделяется и не выбрасывается в воду, атмосферу, вентиляцию или в рабочую зону каких-либо вредных веществ, газов, аэрозолей, дымов и т.д., превышающих допустимые уровни ПДК. Воздействие на литосферу будет характеризоваться утилизацией твердых бытовых отходов (бумага,

бракованные образцы и т.п.). Согласно методике проведения работ по комплексной утилизации вторичных драгоценных металлов из отработанных средств вычислительной техники [24]. Вычислительная техника содержит в себе компоненты, представляющие угрозу как для человека, так и для окружающей среды. В частности, наиболее опасными веществами являются: свинец, ртуть, никель, а также различные щёлочи. Эти вещества поражают нервную систему человека, а также вызывают химические слизистых оболочек и кожных покровов. Поэтому микропроцессорная техника, на основе которой выполнена защита, требует специальных мер по утилизации [23].

В данный комплекс мероприятий входят: отделение металлических частей от неметаллических, отправка металлических компонентов на переплавку, переработка пластиковых и других неметаллических компонентов прибора

Решения по обеспечению экологической безопасности литосферы – вывоз твердых бытовых отходов, с последующей переработкой, ГОСТ 17.4.3.04-85 [24].

## **6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В лаборатории, где проводились эксперименты, возможен такой вид техногенной чрезвычайной ситуации, как пожар.

Помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к классу В-4, так как в нем отсутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии [10].

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия [22]:



1. Использование только исправного оборудования;
2. Проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
3. Назначение ответственного за пожарную безопасность помещений;
4. Издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности
5. Отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
6. Курение в строго отведенном месте;
7. Содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации возгорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к эвакуационному выходу [22].

## **Выводы**

Целью раздела Социальная ответственность было рассмотрение характеристики объекта исследования и области его применения, и различных факторов, влияющих на рабочих, и окружающую среду.

В разделе производственная безопасность проведён анализ опасных и вредных факторов, оказывающих негативное действие на электромонтера и представлены меры по снижению влияющих вредных факторов.

В разделе экологическая безопасность произведён анализ воздействия объекта на атмосферу, литосферу и разработаны решения по обеспечению экологической безопасности.

В разделе безопасность в чрезвычайных ситуациях (ЧС) представлен перечень возможных ЧС на объекте, выбрана наиболее типичная ЧС для объекта, которой является пожар. Проведены разработки по превентивным мерам предупреждения ЧС.

## Заключение

В рамках данной работы были проведены исследования влияния времени работы АВР и включения выключателя на устойчивость работы синхронных двигателей, на примере схемы питания ТНХК. Расчётная схема ТНХК и необходимые сценарии исследования были подготовлены и проведены в программе ВМК РВ ЭЭС.

Согласно полученным результатам, можно отметить, что АВР безусловно положительно влияет на условия сохранения устойчивой и бесперебойной работы потребителей. Однако, степень влияния зависит от времени срабатывания АВР и в большей степени временем переключения состояния выключателей. Здесь можно отметить, чем меньше время срабатывания/отключения выключателя, тем больше вероятность сохранения синхронно работы двигателей. Это связано с уменьшением времени АВР, то есть напряжение не успевает снизиться менее 20% от номинального, и величина взаимного угла вектора напряжения синхронной машины и сети не успевает увеличиться более  $30^{\circ}$ – $40^{\circ}$ . Это определяет непобедимость использования в схемах АВР быстродействующие выключателей, например элегазовых с минимальной величиной срабатывания/отключения выключателей.

### Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1999-2005.
2. Алферова, Т. В. Надежность электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса: учеб. пособие / Т. В. Алферова, О. Ю. Пухальская, А. А. Алферов ; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 112 с.
3. Карманова, Т. Е. Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения: учебное пособие / Т. Е. Карманова. – Архангельск: САФУ имени М. В. Ломоносова, 2015. – 120 с.
4. М. А. БЕРКОВИЧ, А. Н. КОМАРОВ, В. А. СЕМЕНОВ Основы автоматики энергосистем. — М.: Энергоиздат, 1981. — 432 с.
5. Гуревич Ю.Е., Кабиков К.В. Особенности электроснабжения, ориентированного на бесперебойную работу промышленного потребителя — М.: Элекс-КМ, 2005.
6. Х. Карденас, Дж. Микаэль, Х. Мойя Распределенный АВР и восстановление питания с МЭК 61850 // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем Санкт-Петербург, 30 мая – 3 июня 2011 г
7. Быстродействующий автоматический ввод резерва (БАВР) [Электронный ресурс] / ООО «СЗЭМО «ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ» — 2021 — Режим доступа: <https://www.szemo.ru/inzhiniring/elektrosnabzhenie/prosadki-i-perenapryazheniya/bystrodeystvuyushchiy-avtomaticheskii-vvod-rezerva-bavr/>.
8. Быстродействующий автоматический ввод резерва (БАВР) [Электронный ресурс] / Чебоксарский электроаппаратный завод — 2021 — Режим доступа: <https://www.cheaz.ru/products/rps/bavr-v.html>.
9. Быстродействующий автоматический ввод резерва (БАВР) [Электронный ресурс] / ООО «Релематика» — 2021 — Режим доступа: <https://relematika.ru/products/kompleks-bavr/kompleks-bystrodeystvuyushchego->

avtomaticheskogo-vklyucheniya-rezerva-bavr/

10. Быстродействующий автоматический ввод резерва (БАВР) [Электронный ресурс] / ООО «Таврида Электрик» —2021 — Режим доступа: <https://www.tavrida.com/ter/solutions/FTS10/>

11. Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем : учебное пособие / М.В. Андреев [и др.].. — Томск : Томский политехнический университет, 2016. — 112 с.

12. Измерение характеристик и испытание масляных выключателей / ООО «Ремонтно-строительная компания ГОРОД» —2021 — Режим доступа: <http://www.gorod812.com/isyptaniya-izmereniya-i-naladka/izmerenie-kharakteristik-i-ispytanie-maslyanykh-vyklyuchatelej>.

13. ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».

14. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 03.07.2016).

15. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.М.: Стандартинформ, 2016.

16. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиеническими требованиями к микроклимату производственных помещений»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 13.06.2003 г.

17. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".

18. СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи».

19. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197;

20. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой

застройки»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31.10.1996 г.

21. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1976

22. ГОСТ Р 22.0.07-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров

23. ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004

24. "Методика проведения работ по комплексной утилизации вторичных драгоценных металлов из отработанных средств вычислительной техники" подготовлена в соответствии с п.4 Протокола совещания у Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации от 9 июля 1999 года N ИК-П8-5пр.

25. Влияние освещенности на организм человека [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://fbuz14.ru/portfolio-view/osveshenie>, свободный, дата обращения: 27.04.21 г.

26. Шум современных компьютерных систем охлаждения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ixbt.com/cpu/shum1metod.shtml>, свободный, дата обращения: 18.05.21 г.